



Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Informatik und Automatisierung
Institut für Technische Informatik und Ingenieurinformatik
Fachgebiet Softwaresysteme / Prozessinformatik

DIPLOMARBEIT

Konzeption für die Gestaltung von Manufacturing Execution
Systems in serviceorientierten Architekturen

eingereicht von: Nico Gier
geboren am 01. Februar 1980 in Suhl

Hochschullehrer: Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Matthias Riebisch

Inventarisierungsnummer: 2008-11-10/138/IN99/2232

Ilmenau, 2. März 2009

Zusammenfassung

Durch die Globalisierung sehen sich die Unternehmen zunehmen einem stärker werdenden Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Zusätzlich müssen sie sich an immer schneller ändernde Marktsituationen anpassen. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Konzepte zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit entwickelt.

Manufacturing Execution Systems (MES) sollen beispielsweise auf Ebene des Produktionsmanagements versteckte Optimierungspotentiale finden und die Wertschöpfung dadurch dauerhaft erhöhen. Dieses Ziel soll durch die Verbesserung der Prozesse und der Prozessfähigkeit des Unternehmens erreicht werden.

Die von den Unternehmen geforderte Anpassungsfähigkeit muss in hohem Maße durch die IT-Systeme unterstützt werden. Die Eigenschaften und Architekturziele einer serviceorientierten Architektur (SOA) versprechen genau diese Flexibilität. Durch die Bereitstellung von fachlichen Funktionen durch lose gekoppelte Softwareservices sollen Änderungen der Geschäftsprozesse schnell und einfach realisiert werden.

Obwohl sich die versprochenen Vorteile beider Konzepte ähneln, wurde bisher noch nicht untersucht, ob sich die Umsetzung eines MES auf Basis einer SOA anbietet. Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde diese Untersuchung durchgeführt. Dabei wurde im Besonderen der fachliche Entwurf der Softwarearchitektur unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen eines MES umgesetzt.

Aus diesen Anforderungen wurden zunächst relevante SOA-Architekturziele abgeleitet. Auf dieser Grundlage wurden existierende serviceorientierte Entwurfsmethoden miteinander verglichen. Die zur Erfüllung der Anforderungen geeigneten Ansätze wurden anschließend zu einer neuen Entwurfsmethode kombiniert. Unter Verwendung dieser Methode wurde schließlich ein exemplarischer fachlicher Serviceentwurf eines MES erstellt. Die besondere Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES wurde an der Entwurfsmethode und an der fertigen Servicearchitektur nachgewiesen.

Der Beweis wurde auf Basis der abgeleiteten Architekturziele erbracht. Diese Ziele wurden durch die Entwurfsmethode nachweislich umgesetzt. Abschließend wurde bewiesen, dass die speziellen Anforderungen eines MES durch die Eigenschaften einer SOA im besonderen Maße umgesetzt werden.

Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der von mir angegebenen Quellen angefertigt zu haben. Alle Passagen, die wörtlich oder sinngemäß aus fremden Quellen übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Die vorliegende Arbeit wurde noch keiner Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt.

Ilmenau, 2. März 2009

Nico Gier

Thesen der Diplomarbeit

1. Die Konzepte von MES und SOA besitzen Synergien und Gemeinsamkeiten.
2. Einige der Anforderungen, die ein MES erfüllen soll, werden durch die zugrunde liegende Softwarearchitektur umgesetzt. Es gibt SOA-Architekturziele, die diese Umsetzung besonders fördern.
3. Es gibt Entwurfsmethoden, welche die SOA-Architekturziele in besonderem Maße unterstützen.
4. Zur Umsetzung bestimmter SOA-Architekturziele lassen sich serviceorientierte Entwurfsmethoden kombinieren.
5. Ein allgemeines MES lässt sich in disjunkte Funktionsgruppen zerlegen.
6. Für jede dieser Funktionsgruppen lassen sich gezielt Anforderungen identifizieren.
7. Der Produktionsprozess kann in verschiedene Hierarchieebenen zerlegt werden. Dadurch lassen sich Prozessschritte mit einer sehr feinen fachlichen Granularität identifizieren.
8. Die Umsetzung der SOA auf Grundlage dieser Prozessschritte fördert das SOA-Architekturziel der ausgewogenen Granularität.
9. Während der serviceorientierten Analyse lassen sich die SOA-Architekturziele Wiederverwendbarkeit und Autonomie gezielt verbessern.
10. Innerhalb der Geschäftsprozesse lassen sich Teilprozesse identifizieren. In diesen Teilprozessen können alternative Abläufe definiert werden, die zum selben Ergebnis führen. Durch Nachbau dieser Abläufe mithilfe der Services können die SOA-Architekturziele Wiederverwendbarkeit und lose Kopplung unterstützt werden.
11. Durch die Untersuchung der Zustände der Geschäftsobjekte lassen sich die Operationen eines Servicekandidaten vervollständigen.

Ilmenau, 2. März 2009

Nico Gier

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
Literaturverzeichnis	XIII
1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Aufgabenstellung	1
1.3. Methodik	1
1.4. Aufbau dieser Arbeit	2
2. Eignung von SOA zur Umsetzung von MES	3
2.1. Manufacturing Execution Systems	3
2.1.1. Einordnung eines MES in der Unternehmenssoftware	3
2.1.2. Ausgangssituation	5
2.1.3. Relevante Änderungen	6
2.1.4. Anforderungen an ein MES	8
2.1.5. Abgrenzung des MES Einsatzgebietes	10
2.1.6. Die MES-Anforderungen, die durch die Softwarearchitektur erfüllt werden	11
2.2. Serviceorientierte Architekturen	11
2.2.1. Begriffsbestimmung	12
2.2.2. Gründe für einen Einsatz von SOA	12
2.2.3. Komponententypen und Interaktionsmuster innerhalb einer SOA	13
2.2.4. Architekturziele und -prinzipien einer SOA	14
2.2.5. Die Serviceschicht und ihre Einordnung in der Unternehmenssoftware .	18
2.2.6. SOA und Webservices	20
2.3. Synergien zwischen den Konzepten von MES und SOA	20
2.4. Identifikation relevanter SOA-Prinzipien	22
3. Vorstellung und Bewertung serviceorientierter Entwurfsmethoden	25
3.1. Agiler SOA-Entwurf mit Self Diagnosis	25
3.1.1. Systemintegration mit Hilfe von SOA	25

3.1.2.	Stufenweiser SOA-Entwurf unter Verwendung von Legacy Systemen	26
3.1.3.	Bewertung	26
3.2.	serviceorientierter Softwarelebenszyklus	27
3.2.1.	Serviceorientierter Entwicklungsprozess	27
3.2.2.	Die serviceorientierte Analyse	28
3.2.3.	Bewertung	32
3.3.	IBM-Methode: Steps of the SOA approach	32
3.3.1.	SOA-Definition der IBM-Methode	32
3.3.2.	Schritte der serviceorientierten Softwareentwicklung	33
3.3.3.	Bewertung	34
3.4.	Wertschöpfungsorientierter Serviceentwurf	34
3.4.1.	Häufige Probleme, die bei der Einführung einer SOA auftreten	34
3.4.2.	Fachlich orientierter Serviceentwurf	35
3.4.3.	Bewertung	36
3.5.	Der Weg zum guten Service	37
3.5.1.	Flexibilität innerhalb der SOA	37
3.5.2.	Ansätze zum Serviceentwurf im Überblick	37
3.5.3.	Bewertung	39
3.6.	Granularität von Services - Kriterien zur Strukturierung einer Servicelandschaften	39
3.6.1.	Granularitätsproblem beim Serviceentwurf	39
3.6.2.	Kategorisierung der Services einer SOA	40
3.6.3.	Bewertung	41
3.7.	Geschäftsprozessmanagement	42
3.7.1.	Begriffsbestimmung	42
3.7.2.	Methoden der Serviceidentifikation	42
3.7.3.	Bewertung	43
3.8.	Keller-Methode zur Vervollständigung objektzentrierter Services	43
3.8.1.	Die Optimierungsaufgabe beim Softwareentwurf	43
3.8.2.	Ableiten der Operationen bei objektzentrierten Services	43
3.8.3.	Bewertung	44
4.	Identifikation und Beschreibung relevanter Funktionsgruppen des MES	46
4.1.	Wichtige Standardisierungsbemühungen zum Thema MES	46
4.1.1.	ANSI / ISA S95	46
4.1.2.	MESA	48
4.1.3.	VDI Richtlinie 5600	50
4.1.4.	NAMUR NA 94 und NA 110	53
4.2.	Ableitung relevanter Funktionsgruppen	53
4.2.1.	Datenerfassung und das Informationsmanagement	54
4.2.2.	Funktionsbereich Produktion	54
4.2.3.	Funktionsbereich Qualität	55

4.2.4. Funktionsbereich Personal	55
4.3. Anforderungsanalyse	56
4.3.1. Ressourcenmanagement	57
4.3.2. Materialmanagement	59
4.3.3. Produktionsmanagement	60
4.3.4. Feinplanung	61
4.3.5. Ablaufsteuerung	62
4.3.6. Analyse	63
4.3.7. Messmittelmanagement	64
4.3.8. Planung und Durchführung von Qualitätsprüfungen	65
4.3.9. Personalmanagement	65
4.3.10. Personaleinsatzplanung	66
4.3.11. Datenerfassung	66
4.3.12. Informationsmanagement	68
5. Serviceorientierte Analyse	69
5.1. Abgrenzung des Einsatzbereiches	69
5.2. Geschäftsprozessmodellierung des Produktionsprozesses	70
5.2.1. Betrachtung des Produktionsprozesses von außen	70
5.2.2. Beschreibung der internen Abläufe des Produktionsprozesses	71
5.2.3. Beschreibung der einzelnen Teilprozesse	73
5.3. Geschäftsinformationsmodell des Produktionsprozesses	86
5.4. Serviceentwurf	87
5.4.1. Zerlegung des Produktionsprozesses in seine Prozessschritte	88
5.4.2. Kontextbezogene Gruppierung der Operationskandidaten	92
5.4.3. Umsetzung relevanter SOA-Architekturziele	101
5.4.4. Untersuchung alternativer Prozessabläufe	103
5.4.5. Untersuchung des Zustandsautomaten der Geschäftsobjekte	109
5.5. Beschreibung der Servicekandidaten und Entwicklung ihrer Schnittstellen	110
5.6. Zusammenfassung der verwendeten Entwurfsmethode	112
5.7. Bewertung der Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES anhand des Serviceentwurfs	115
5.7.1. Bewertung der Umsetzung der Architekturziele	115
5.7.2. Bewertung der Umsetzung der MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur	117
6. Fazit und Ausblick	118
A. Anhang	120
A.1. Das Geschäftsinformationsmodell	120
A.2. Die Gruppierung der Operationen zu Servicekandidaten	124

A.3. Der Servicekandidat Maschinengruppe	127
A.3.1. Invarianten	127
A.3.2. Beschreibung der Operationen	127
A.4. Der Servicekandidat Fertigungsauftrag	132
A.4.1. Invarianten	132
A.4.2. Beschreibung der Operationen	133
B. Glossar	139

Abbildungsverzeichnis

2.1. Die Bearbeitung des Kundenauftrages in den verschiedenen Abteilungen . . .	4
2.2. Die Aufteilung der IT Landschaft in drei Schichten	4
2.3. Die horizontale Aufteilung vs. vertikaler Auftragsbearbeitung	7
2.4. Die drei Schichten der Unternehmens IT mit den ausgetauschten Daten	10
2.5. Die Interaktionsmuster der Komponenten einer SOA ([3] S.12)	14
2.6. Die Einordnung und der Aufbau der Serviceschicht ([5] S.337)	19
2.7. Die Beziehungen der identifizierten Prinzipien	23
3.1. Die Phasen des serviceorientierten Lebenszyklus nach Erl[5]	27
3.2. Die Schritte der serviceorientierte Analyse nach Erl[5]	31
3.3. Die Kategorisierung der Services einer SOA nach Henning[10]	41
4.1. Das Architekturmodell der Unternehmenssoftware nach ISA S95 ([35])	47
4.2. Das Prozessmodell eines MES nach ISA S95 ([37])	48
4.3. Der Prozessorientierter Ansatz der VDI Norm	51
4.4. Die Funktionsgruppen und ihre Beziehungen nach VDI 5600 ([27])	52
4.5. Die abgeleiteten Funktionsgruppen und ihre Beziehungen	56
4.6. Das Use-Case-Diagramm des Funktionsblocks Ressourcenmanagement	57
4.7. Das Aktivitätsdiagramm der Funktionsgruppe Instandhaltung	58
4.8. Ein Beispiel für die grafische Darstellung einer Stückliste als Gozintograph . .	60
4.9. Das Use-Case-Diagramm des Funktionsblocks Feinplanung	61
5.1. Der Produktionsprozess mit seinen aus- und eingehenden Informationen . . .	71
5.2. Die einzelnen Teilprozesse des Produktionsprozesses	72
5.3. Die Teilprozesse des Produktionsprozesses als Aktivitätsdiagramm	74
5.4. Die Abläufe bei der Bedarfsplanung	76
5.5. Die Abläufe bei der Zeit- und Kapazitätsplanung	77
5.6. Die Abläufe bei der Auftragsfreigabe	79
5.7. Die Abläufe bei der Feinplanung	82
5.8. Die Abläufe bei der Rückstandregelung der Kapazitätssteuerung	83
5.9. Die Abläufe bei der Produktionsdurchführung	85
5.10. Ein Ausschnitt aus dem Geschäftsinformationsmodell	86
5.11. Die Umwandlung des Informationsflusses in Prozessschritte	88
5.12. Die genaue Zuordnung der Geschäftsfunktionen zu den Informationsobjekten	89
5.13. Die Kennzeichnung der manuellen Prozessschritte	90

5.14. Die Beschreibung der halbautomatischen Planerstellung während Feinplanung	91
5.15. Die Prozessschritte der Bedarfsplanung	93
5.16. Die Prozessschritte der Zeit- und Kapazitätsplanung	94
5.17. Die Prozessschritte der Auftragsfreigabe	95
5.18. Die Prozessschritte der Feinplanung	96
5.19. Die Prozessschritte der Rückstandsregelung	97
5.20. Die Prozessschritte der Produktionsdurchführung und der Analyse	98
5.21. Die identifizierten prozesszentrierten Services und ihre Beziehungen	99
5.22. Die Maschinengruppe nach der ersten Gruppierung	99
5.23. Der Fertigungsauftrag nach der ersten Gruppierung	100
5.24. Die Maschinengruppe nach der Umsetzung der Architekturziele	102
5.25. Der Fertigungsauftrag nach der Umsetzung der Architekturziele	103
5.26. Der Ablauf bei der Stornierung eines Kundenauftrages	105
5.27. Der Ablauf der belastungsorientierten Auftragsfreigabe	106
5.28. Der alternative Ablauf zur periodischen Auftragsfreigabe	107
5.29. Die Maschinengruppe nach der Betrachtung der alternativen Abläufe	108
5.30. Der Fertigungsauftrag nach der Betrachtung der alternativen Abläufe	108
5.31. Der Zustandsautomat des Fertigungsauftrages	109
5.32. Das UML-Diagramm der Schnittstelle der Maschinengruppe	113
5.33. Das UML-Diagramm der Schnittstelle des Fertigungsauftrages	113
5.34. Die Arbeitsschritte der verwendenden Entwurfsmethode	114
A.1. Das Informationsmodell für den Produktionsprozess	123
A.2. Die Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 1 / 3	124
A.3. Die Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 2 / 3	125
A.4. Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 3 / 3	126

Tabellenverzeichnis

5.1. Die Operation <i>Auslastungsgebirge erstellen</i> der Maschinengruppe	111
5.2. Die Operation <i>Prozentualen Fortschritt bestimmen</i> des Fertigungsauftrages . .	112
A.1. Die wichtigsten Attribute der identifizierten Geschäftsobjekte	122

Abkürzungsverzeichnis

ASS	Applikationsserviceschicht(Ebene der Serviceschicht)
CRUD	Basisoperationen von Geschäftsobjekten - Create, Read, Update, Delete
ERP	Enterprise Resource Planning
GSS	Geschäftsserviceschicht(Ebene der Serviceschicht)
ISA	Instrumentation, Systems and Automation Society
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Enterprise Solution Association
NAMUR	Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie
OSS	Orchestrierungsserviceschicht(Ebene der Serviceschicht)
PAP	Programmablaufplan
RAG	Realisierten Arbeitsgang
ROI	Return on Investment
SOA	Serviceorientierte Architektur
VDI	Verbandes Deutscher Ingenieure

Literaturverzeichnis

- [1] BASS, Len ; CLEMENTS, Paul ; KAZMAN, Rick: *Software Architecture in Practice*. Addison-Wesley, 1998
- [2] BIEBERSTEIN, Norbert ; BOSE, Sanjay ; FIAMMANTE, Marc ; JONES, Keith ; SHAH, Rawn: *Service-Oriented Architecture (SOA) Compass*. Prentice Hall International, 2005
- [3] DOSTAL, Wolfgang ; JECKLE, Mario ; MELZER, Ingo ; ZENGLER, Barbara: *Serviceorientierte Architekturen mit Web Services. Konzepte - Standards - Praxis (2. Auflage)*. Spektrum-Akademischer Vlg, 2007
- [4] ENDREI, Mark ; ANG, Jenny ; ARSANJANI, Ali ; CHUA, Sook ; COMTE, Philippe ; KROGDAHL, Pål ; LUO, Min ; NEWLING, Tony: *Patterns: Service-Oriented Architecture and Web Services*. IBM - International Technical Support Organization, 2004
- [5] ERL, Thomas: *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology and Design*. Pearson, 2005
- [6] ERL, Thomas: *SOA - Entwurfsprinzipien für Serviceorientierte Architekturen*. Addison-Wesley, 2008
- [7] FIEGE, René ; STELZER, Dirk: *Modellierung Serviceorientierter Architekturen mit Axiomatic Design*. (2007)
- [8] GÜNTHER, Hans-Otto ; TEMPELMEIER, Horst: *Produktion und Logistik*. Springer Verlag, 2007. – Siebte, durchgesehene Auflage
- [9] HACK, Stefan ; LINDEMANN, Markus: *Enterprise SOA einführen*. Galileo Press, 2007
- [10] HENNING, Hans-Jürgen von: Granularität von Services - Kriterien zur Strukturierung einer Servicelandschaften. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007). – Herausgeber: Dpunkt Verlag
- [11] HUMM, Bernhard: Was ist eigentlich ein Service. (2008)
- [12] JOSUTTIS, Nicolai: *SOA in der Praxis*. 2008. – Herausgeber: Dpunkt Verlag
- [13] KELLER, Wolfgang: Regeln und Heuristiken für gutes Schnittstellendesign. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007)
- [14] KLETTI, Jürgen: *MES - Manufacturing Execution System : Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung*. Springer Verlag, 2006

- [15] KLETTI, Jürgen: *Konzeption und Einführung von MES Systemen*. Springer Verlag, 2007
- [16] KLETTI, Jürgen: Praktische Lösungen - Best Practice für Fertigungsbetriebe. In: *IT and Production* (2008)
- [17] KLETTI, Jürgen: Fertiger brauchen Datenstandards. In: *Computer Zeitung* 9 (2009)
- [18] KRAFZIG, Dirk ; BANKE, Karl ; SLAMA, Dirk: *Enterprise SOA: Service-Oriented Architecture Best Practices*. Mitp-Verlag, 2005
- [19] KURBEL, Karl: *Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management*. Oldenbourg Wissensverlag GmbH, 2005. – Sechste Auflage
- [20] LANGE, Ronny: Anforderungen und Trends bei modernen Manufacturing Execution Systemen. In: *3. Workshop Automatisierungstechnik (FH Mittweida)* (2004)
- [21] LÖDDING, Hermann: *Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*. Springer Verlag, 2007
- [22] LIEBHART, Daniel: *SOA goes real: Service-orientierte Architekturen erfolgreich planen und einführen*. Hanser Fachbuchverlag, 2007
- [23] LINDEMANN, Marcus: Das aktuelle Stichwort: Manufacturing Execution Systems. In: *PPS Management* 10 (2005)
- [24] LINDEMANN, Marcus ; SCHMID, Simone: Marktüberblick: Manufacturing Execution Systems. In: *PPS Management* 10 (2005)
- [25] LINDEMANN, Marcus ; SCHMID, Simone ; GRONAU, Norbert: Wirtschaftlichkeitsbewertung der Einführung von Manufacturing Execution Systems. (2007)
- [26] LÄMMER, Anna ; EGGERT, Sandy ; GRONAU, Norbert: A Procedure Model for a SOA-Based Integration of Enterprise Systems. In: *International Journal of Enterprise Information Systems* (2008)
- [27] LOHMANN, Henning ; POPITZ, Dominik ; HINRICHS, Jörg: *Manufacturing Execution Systems - Produktionssteuerung und -ausführung im adaptiven Unternehmen*. 2008. – http://www.pbft.de/fileadmin/templates/images/Progammbilder/Session1/Lohmann_IML.pdf zuletzt besucht am 08.12.2008
- [28] MES-HERSTELLER: CITECT: *Produktinformationen zu Ampla*. 2008. – <http://www.citect.com/ampla> zuletzt besucht am 20.12.2008
- [29] MES-HERSTELLER: GFOS GESELLSCHAFT FÜR ORGANISATIONSBERATUNG UND SOFTWAREENTWICKLUNG MBH: *Produktinformationen zu dem MES der Firma GFOS*. 2008. – <http://www.gfos.de> zuletzt besucht am 20.12.2008

- [30] MES-HERSTELLER: MPDV MIKROLAB GMBH: *Produktinformationen zu HYDRA!* 2008. – <http://www.mpdv.de> zuletzt besucht am 20.12.2008
- [31] MES-HERSTELLER: PSI PRODUCTION GESELLSCHAFT FÜR STEUERUNGS- UND INFORMATIONSSYSTEME MBH : *Produktinformationen zu dem MES der Firma PSI Production.* 2008. – <http://www.gsi-berlin.de> zuletzt besucht am 20.12.2008
- [32] MEYER, Heiko: Gretchenfrage: Sind Manufacturing Execution Systeme standardierbar? In: *IT and Production* 6+7 (2008)
- [33] MÖHRMANN, Uli: Produktionslogistik: Der Schlüssel zu mehr Produktivität und Rentabilität. In: *IT and Production* 1 (2008)
- [34] MÜLLER, Thomas: Der Weg zum guten Service. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007). – Herausgeber: Dpunkt Verlag
- [35] ODENSASS, Philipp ; LANGE, Dirk: Enterprise Control System Integration. In: *Automatisierungstage 2005* (2005). – Herausgeber: Universität Lüneburg
- [36] RAUSCH, Till: Service Orientierte Architektur: Übersicht und Einordnung. (2004)
- [37] REDAKTION ADVANCE: Der Standard S95 schafft Klarheit. In: *advance* 1 (2004). – Herausgeber: Siemens AG
- [38] REDAKTION DER FIRMA ACS AG: MES - Manufacturing Execution System. (2008)
- [39] REDAKTION DER FIRMA INCUITY: *Informationsmanagement und MES.* 2007. – http://www.1-1portal.dk/imagegallery/incuity/Informationsmanagement%20und%20MES_German.pdf zuletzt besucht am 08.12.2008
- [40] REDAKTION DER FIRMA MPDV: *Definitionen zu MES.* 2007. – http://www.competence-site.de/mes.nsf/EA9A0F773AF33787C125725A00476EAB/\protect\T1\textdollarFile/mes_definition_definitionen_mesa_namur_vdi_mpdv.pdf zuletzt besucht am 08.12.2008
- [41] REDAKTION MESA WEBSEITE: *MESA P2E Model Statement.* 2008. – <http://www.mesa.org/index.php?page=mesa-model> zuletzt besucht am 08.12.2008
- [42] REDAKTION PROCESS: *ISA-95 schließt letzte Lücke zwischen Geschäfts- und Produktions-Prozessen.* 2006. – http://www.process.vogel.de/management_und_it/software/erp/articles/60348/ zuletzt besucht am 08.12.2008
- [43] RICHTER, Jan-Peter ; HALLER, Harald ; SCHREY, Peter: *Serviceorientierte Architektur.* 2005. – http://www.gi-ev.de/no_cache/service/informatiklexikon/informatiklexikon-detailansicht/meldung/serviceorientierte-architektur-118/ zuletzt besucht am 27.01.2009

- [44] ROTH, Roman: Wertschöpfungsorientierter Serviceentwurf. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007). – Herausgeber: Dpunkt Verlag
- [45] SCHEER, August-Wilhelm: *Wirtschaftsinformatik - Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Springer Verlag, 1995. – Sechste, durchgesehene Auflage
- [46] SCHELP, Joachim ; WINTER, Robert: Agilität und SOA. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007)
- [47] SCHUHMACHER, Jochen: Wertschöpfung ohne Verschwendung durch den Einsatz von MES. In: *PPS Management* 9 (2004)
- [48] SCHULZ, Thomas ; MITKOUDIS, Dimos: Feinplanung von Fertigungsaufträgen - Optimierung als Kernfunktion von Manufacturing Execution Systems. In: *PPS Management* 11 (2006)
- [49] STARKE, Gernot ; TILKOV, Stefan: Einmaleins der serviceorientierten Architekturen. In: *SOA-Expertenwissen: Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen* (2007)
- [50] STROHMEYER, Stephan: VDI 5600 im Praxistest. In: *IT and Production* 1+2 (2007)
- [51] WIENDAHL, Hans-Hermann: MES: Neuer Hype oder mehr Nutzen für die Produktion. In: *Produktion* 6 (2006)
- [52] WIENDAHL, Hans-Hermann: MES braucht die richtige Startstrategie. In: *Industrie Anzeiger* 9 (2008)
- [53] WIENDAHL, Hans-Hermann ; MUSSBACH-WINTER, Ute ; KIPP, Rolf: ERP und MES - Widerspruch oder sinnvolle Ergänzung? In: *PPS Management* 10 (2005)
- [54] WIENDAHL, Hans-Hermann ; MUSSBACH-WINTER, Ute ; KIPP, Rolf: *Marktspiegel Business Software: MES-Fertigungssteuerung 2004/2005*. Fraunhofer IPA aus Stuttgart, 2005
- [55] WIENDAHL, Hans-Hermann ; MUSSBACH-WINTER, Ute ; KIPP, Rolf: MES-Lösungen: Wann braucht man sie, wozu sind sie nützlich? In: *IT and Production* 3 (2005)
- [56] WOODS, Dan: *Enterprise Services Architecture: SAPs Bauplan für Geschäftsapplikationen der nächsten Generation*. Galileo Press, 2004

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Serviceorientierte Architekturen (SOA) werden von Wirtschaft und Wissenschaft verstärkt als neuer Ansatz zur Entwicklung und Strukturierung von großen Softwaresystemen betrachtet. Im Zuge der Globalisierung müssen sich Unternehmen an immer schneller ändernde Marktsituationen anpassen. Dadurch wird gerade von den IT-Systemen ein hohes Maß an Flexibilität verlangt. Die Eigenschaften und Architekturziele einer SOA versprechen genau diese Anpassungsfähigkeit

Mit Manufacturing Execution Systems (MES) wird informationstechnisch eine Brücke zwischen Enterprise Resource Planning (ERP) Systemen und der Automationsebene der Fertigung geschlagen. Durch Verbesserung der Prozesse und der Prozessfähigkeit sollen Unternehmen versteckte Optimierungspotentiale finden und die Wertschöpfung dauerhaft verbessern.

Obwohl sich die versprochenen Vorteile beider Konzepte ähneln, wurde bisher noch nicht untersucht, ob sich die Umsetzung eines MES auf Basis einer SOA anbietet.

1.2. Aufgabenstellung

Im Rahmen der Diplomarbeit soll untersucht werden, wie existierende Manufacturing Execution Systeme in eine serviceorientierten Architektur Umgebung eingebunden werden können. Dazu sind unabhängige Teilbereiche zu identifizieren und Geschäftsprozesse abzuleiten. Daraus ist ein Fachkonzept abzuleiten, aus dem Schnittstellen entsprechend SOA entwickelt werden. Dabei sollen vorhandene Entwicklungsmethoden untersucht, angewendet und bewertet werden.

1.3. Methodik

Die beschriebene Eignung der SOA wird am Anfang der Arbeit anhand einer Literaturbetrachtung untersucht. Dabei werden die Konzepte von MES und SOA analysiert und auf Gemeinsamkeiten und Synergien hin überprüft. Danach wird die Eignung anhand eines exemplarischen SOA-Entwurfs evaluiert. Zu diesem Zweck werden serviceorientierte Entwurfsmethoden betrachtet und im Kontext dieser Arbeit auf ihre Brauchbarkeit hin bewertet. Für diese Evaluation werden relevante Eigenschaften und Architekturziele einer SOA abgeleitet, die in besonderem Maße die Zielsetzung eines MES unterstützen.

Als Grundlage des SOA-Entwurfes wird die Funktionalität eines MES untersucht und gegenüber Nachbarsystemen abgegrenzt. Dies erfolgt durch die Betrachtung wichtiger Standardisierungsarbeiten zum Thema MES, aus denen typische Funktionsblöcke abgeleitet werden. Anschließend werden diese Blöcke durch eine Anforderungsanalyse detailliert beschrieben.

In dieser Arbeit wird die SOA auf fachlicher Ebene entwickelt. Deshalb wird im Rahmen des Softwareentwicklungsprozesses nur die serviceorientierte Analyse durchgeführt. Die bisher beschriebenen Untersuchungen dienen der Vorbereitung dieser Phase. Die Ergebnisse werden dazu genutzt, auf fachlicher Ebene Services zu identifizieren. Diese Services grenzen sich durch ihre Funktionalität und ihre Schnittstellen voneinander ab. Mit Hilfe des Serviceentwurfs wird die Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES abschließend bewertet.

1.4. Aufbau dieser Arbeit

Nach der Einleitung wird im zweiten Kapitel der Diplomarbeit ein Überblick über die Konzepte, Ziele und Anforderungen von MES und SOA vermittelt. Dies dient zum einen der Einführung in das Thema und zum anderen der theoretischen Untersuchung von Gemeinsamkeiten und Synergien. Es werden Anforderungen an ein MES herausgearbeitet, die seine Softwarearchitektur betreffen. Aus diesen Anforderungen werden schließlich relevante SOA-Architekturziele abgeleitet.

Im dritten Kapitel werden interessante Verfahren zur serviceorientierten Softwareentwicklung vorgestellt und auf ihre Brauchbarkeit zur Umsetzung eines MES hin bewertet. Diese Bewertung erfolgt auf Basis der abgeleiteten Architekturziele.

Im Anschluss daran wird im vierten Kapitel die Funktionalität des MES identifiziert und gegenüber Nachbarsystemen abgegrenzt. Zu diesem Zweck werden die Arbeiten der wichtigsten Standardisierungsorganisationen vorgestellt und der jeweils vorgeschlagene Funktionsumfang untersucht. Daraus werden typische Funktionsblöcke abgeleitet. Im zweiten Teil des Kapitels erfolgt eine Anforderungsanalyse, mit der die Funktionsblöcke detailliert beschrieben werden.

Die serviceorientierte Analyse ist Thema des fünften Kapitels. Dabei werden am Anfang die Geschäftsprozesse modelliert und das Informationsmodell beschrieben. Auf dieser Basis werden Operationskandidaten identifiziert, die anschließend zu Services zusammengefasst werden. Danach werden die Servicekandidaten schrittweise verfeinert. Der Entwurfsprozess wird mit der Entwicklung der Schnittstellen abgeschlossen. Am Ende des Kapitels werden die erstellten Services und der Entwicklungsprozess auf die Eignung zur Umsetzung eines MES bewertet.

Die Arbeit endet mit einer kritischen Auswertung der Ergebnisse sowie einem Ausblick auf künftige Entwicklungen.

2. Eignung von serviceorientierten Architekturen zur Umsetzung von Manufacturing Execution Systems

Dieses Kapitel beleuchtet die Konzepte von MES und SOA. Auf dieser Grundlage erfolgt die Bewertung der Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES. Um über diese Eignung eine Aussage treffen zu können, ist vorher zu untersuchen, welche MES-Anforderungen seine Softwarearchitektur betreffen. Zu diesem Zweck werden zu Beginn Anforderungen, die der Nutzer an ein MES stellt, untersucht. Dabei wird die Einordnung eines MES in die Unternehmenssoftware sowie die Ausgangslage in Bezug auf das Einsatzgebietes und relevante Änderungen im Umfeld der Unternehmen betrachtet. Danach erfolgt eine Abgrenzung der MES-Funktionalität gegenüber Nachbarsystemen. Diese Ausführungen bilden die Grundlage für die Identifikation der Anforderungen an ein MES, die durch die Softwarearchitektur gefördert werden. Im Anschluss daran erfolgt die Untersuchung, ob eine SOA diesen Anforderungen gerecht wird. Zu diesem Zweck findet eine Einführung in das Thema statt, die den SOA-Begriff eingrenzt. Weiterhin werden Gründe für den SOA-Einsatz angeführt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Rollen und Interaktionsmuster und eine Erläuterung der wesentlichen Architekturziele. Aus diesen Informationen werden Gemeinsamkeiten zwischen den Konzepten von MES und SOA abgeleitet. Dabei spielen die identifizierten MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur eine zentrale Rolle. Dabei wird neben der generellen Eignung auch nach Architekturzielen gesucht, die eine Umsetzung eines MES als SOA unterstützen. Durch eine Analyse der Beziehungen der identifizierten Ziele wird dieses Kapitel abgeschlossen.

2.1. Manufacturing Execution Systems

2.1.1. Einordnung eines MES in der Unternehmenssoftware

Ein produzierendes Unternehmen erzielt seine Wertschöpfung durch die Bearbeitung von Kundenaufträgen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um Stückgutproduktion oder Prozessindustrie handelt. Der allgemeine Ablauf der Auftragsbearbeitung ist derselbe. Der Kundenauftrag wird in der Auftragsannahme entgegengenommen, bearbeitet und freigegeben. Danach erfolgt die Produktion des jeweiligen Erzeugnisses und seine Überprüfung in der Wareneingangskontrolle. Mit der Lieferung und der Rechnungslegung ist der Prozess, der in Abbildung 2.1 dargestellt ist, abgeschlossen. Die einzelnen Stationen werden durch die Abteilungsstruktur des Unternehmens geprägt

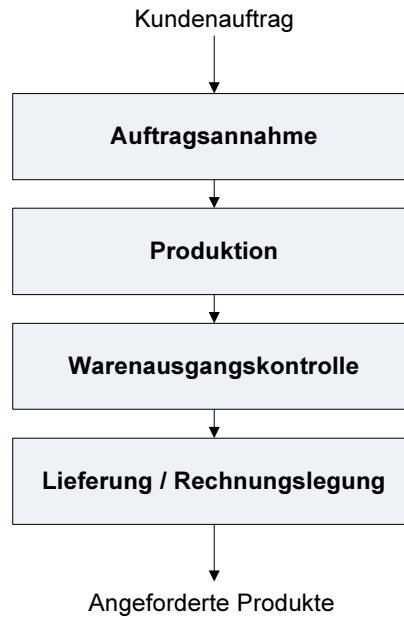


Abbildung 2.1.: Die Bearbeitung des Kundenauftrages in den verschiedenen Abteilungen

Die IT-Landschaft in solchen Firmen lässt sich aufgrund ihrer Funktionalität in drei Schichten unterteilen.([20], [54], [15] S.6-10) Die oberste Schicht ist dem Unternehmensmanagement zugeordnet. An dieser Stelle werden sogenannte Enterprise Resource Planing (ERP) Systeme eingesetzt. Die automatischen Steuerungssysteme der Maschinen und Anlagen bilden die unterste Schicht dieses Modells. In der Mitte befinden sich Funktionen des Produktionsmanagements. Diese Schicht wurde softwaretechnisch lange vernachlässigt.([23]) Die beschriebene Aufteilung ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

Die Teilprozesse der Wertschöpfungskette, die in Abbildung 2.1 zu sehen sind, werden in unterschiedlichen Schichten abgebildet. Durch die individuelle Interpretation der Schichtengrenzen kann sich diese Zuordnung aber von Unternehmen zu Unternehmen unterscheiden.([53]) Üblicherweise werden Auftragsannahme und Lieferung / Rechnungslegung im ERP bearbeitet. In diesem Fall werden Produktion und Warenausgangskontrolle den Schichten darunter zugeordnet.



Abbildung 2.2.: Die Aufteilung der IT Landschaft in drei Schichten

Das MES erfüllt in diesem Modell die Aufgaben des Produktionsmanagements. Dabei wird es auch als prozessnahes Fertigungsmanagementsystem bezeichnet. Die wichtigste Funktion ist die technologiespezifische Abbildung des fertigungsnahen Wertstroms.([51]) Darüber hinaus soll das MES eine Brücke zwischen der Unternehmensleitung und der Automationsebene der Maschinen schlagen. Zur genaueren Untersuchung der Thematik wird im Anschluss die Ausgangssituation erläutert. Diese beschreibt den Aufbau der Produktionsmanagementschicht vor dem Einsatz eines MES.([20])

2.1.2. Ausgangssituation

Die Funktionalität des Produktionsmanagements wurde anfangs durch separate Softwarelösungen bereitgestellt. Diese Anwendungen entwickelten sich von speziellen Lösungen zu komplexeren Systemen. Insgesamt haben sich drei verschiedene Programmgruppen herausgebildet. Die erste Gruppe umfasst Aufgaben der Fertigung, wie zum Beispiel Feinplanung oder Maschinen- und Betriebsdatenerfassung. Weitere Systeme wurden für die Qualitätssicherung entwickelt und beinhalten unter anderem Messwerterfassung und CAQ (Computer Aided Quality) Systeme. Die letzte Gruppe von Anwendungen ist für Personalfunktionen verantwortlich. Dazu zählen beispielsweise Personalzeiterfassung und Personaleinsatzplanung.([14] S.21-25)

Die Datenbasis dieser Systeme weist durch ihre Verteilung auf die beteiligten Systeme eine schlechte Qualität und Aktualität auf. Ein Grund dafür ist die mangelnde Vernetzung der Anwendungen. Sie werden getrennt voneinander entwickelt und betrieben. Weiterhin verfügen sie kaum über Schnittstellen zu anderen Systemen. Solche Programme werden auch als Inselösungen bezeichnet.([14] S.21-25) Die Daten der einzelnen Anwendungen werden aber auch in anderen Systemen benötigt. Das liegt daran, dass die Wertschöpfungskette alle Bereiche des Produktionsmanagements berührt. Beispielsweise hängen die Messwerte der Qualitätssicherung von dem Produktionsprozess ab. Das bedeutet, dass zur Fehleranalyse die Produktionsdaten benötigt werden. Durch die fehlenden Schnittstellen erfolgt der Informationsaustausch papiergebunden durch die Mitarbeiter, die an dem einen System die Daten ausdrucken und sie anschließend in das andere wieder eingeben. Dieser Prozess ist sowohl fehleranfällig als auch zeit- und materialaufwendig. Die auf diese Weise ausgetauschten Daten liegen erst verspätet vor und weisen eine schlechte Qualität auf. Die Informationen zum Produktionsprozess stehen beispielsweise erst nach seinem Abschluss zur Verfügung. Eine zeitnahe Reaktion auf Probleme ist nicht möglich. Da sich die Produktionsprozesse gegenseitig beeinflussen, können sich auf diese Weise die Schwierigkeiten leicht und unbemerkt auf andere übertragen. Weiterhin können auftretende Probleme bei der Produktionsplanung nicht berücksichtigt werden.([47], [14] u.a. S.85-90, [48], [17])

Eine zentrale Aufgabe des Produktionsmanagements ist die Feinplanung. Die Vorlage dafür liefert die Grobplanung, die im ERP erstellt wird. Dabei werden die vorhandenen Kundenaufträge für die Fertigung eingeplant. Der zeitliche Horizont dieser Planung umfasst Wochen und Monate. Weiterhin wird gegen unendliche Kapazitäten geplant, das bedeutet, Maschinenausfälle und Materialengpässe werden nicht berücksichtigt. Die eigentliche Maschinenbelegung,

die sogenannte Feinplanung, erfolgt dann manuell auf Plan- oder Stecktafeln. Dieser Prozess ist sehr aufwendig, eine Planänderung ist nahezu unmöglich. Mitunter kommen Insellösungen zum Einsatz, die aber durch die schlechte Datenqualität nur ungenau arbeiten können. ([53], [15] S.8-10)

Nachdem die Ausgangslage charakterisiert wurde, werden im nächsten Abschnitt Änderungen beschrieben, mit denen die Unternehmen aktuell umgehen müssen. Dabei sind besonders solche Änderungen relevant, die das Produktionsmanagement beeinflussen.

2.1.3. Relevante Änderungen

Die Märkte, auf denen die Unternehmen agieren, sind immer größerer Dynamik unterworfen. Hohe Qualität ist heute kein Alleinstellungsmerkmal mehr. Zunehmend werden individuelle Produkte, kürzere Produktlebenszyklen, geringere Lieferzeiten und kleinere Losgrößen gefordert. Das verlangt von den Firmen eine hohe Flexibilität. Es ergeben sich immer komplexer werdende Produktionsprozesse, die die Planung zusätzlich erschweren. ([55], [48])

Im Zuge der Globalisierung ist ein stetig steigender Wettbewerbsdruck zu verzeichnen. Es wird immer wichtiger, die vorhandenen Ressourcen so optimal wie möglich einzusetzen. Verschärft wird die Situation weiter durch den Mangel an Fachkräften und das hohe Lohnniveau. ([14] S.70-77)

Unterstützt durch die Einführung der Qualitätsmanagementnorm 9001 setzen immer mehr Firmen auf den Einsatz des prozessorientierten Ansatzes. Dabei wird das Unternehmen aus einer horizontalen Blickrichtung betrachtet. Im Gegensatz zu der vertikalen Abteilungsstruktur verläuft die Wertschöpfungskette waagerecht durch die Firma. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Der Fokus liegt in diesem Zusammenhang auf den Prozessen entlang dieser Kette. Es gilt das Prinzip, dass erwünschte Ergebnisse effizienter erzielt werden können, wenn Tätigkeiten und dazugehörige Ressourcen als Prozess geleitet und gelenkt werden. In diesem Zusammenhang ist die Wirtschaftlichkeit eine Eigenschaft der Prozesse und nicht der Produkte. Elementare Bestandteile der Norm sind Identifikation der Prozesse und kontinuierliche Verbesserung. Dazu sind aktuelle, detaillierte Daten des Wertstromes notwendig. ([47], [14] S.45-65)

Die Verbesserung der Prozesse eröffnet den Unternehmen größere Verbesserungspotentiale als die klassische Kostenrechnung. In der Vergangenheit wurde eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Senkung der Stückkosten erreicht. Der Einsatz von effizienteren Maschinen und die Optimierung der Automationsprozesse sollten dieses Ergebnis erzielen. In diesem Bereich sind aber Grenzen erreicht. Immer kleineren Verbesserungen stehen immer größere Investitionen gegenüber. Aus diesem Grund müssen Optimierungsmaßnahmen entwickelt werden. In heutigen Unternehmen ist ein stetig steigender Gemeinkostenanteil festzustellen. Diese Kosten werden nicht über die Stückzahlen, sondern über die Durchlaufzeit auf die Erzeugnisse verteilt. Daher lässt sich eine Verbesserung der Durchlaufzeit nur bedingt an sinkenden Stückkosten nachweisen. Statistisch gesehen entfallen nur fünf bis zehn Prozent der Durchlaufzeit auf wertschöpfende Bearbeitung. Der Rest ergibt sich aus Betriebsunterbrechung sowie Liege-

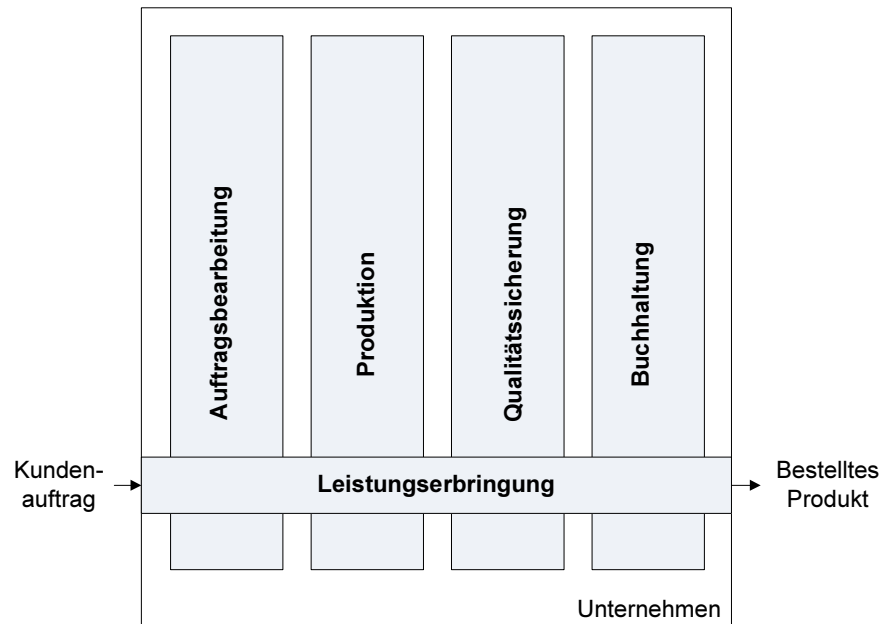


Abbildung 2.3.: Die horizontale Aufteilung vs. vertikaler Auftragsbearbeitung

, Warte- und Lieferzeiten. Die gezielte Verbesserung der Prozesse kann hier Abhilfe schaffen und zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Wettbewerbsfähigkeit beitragen.([24], [47], [25], [48], [17])

Das moderne produzierende Unternehmen wandelt sich zunehmend von einer Produktionsstätte zu einem Dienstleistungszentrum. Die Zielsetzungen im Unternehmen werden dadurch immer komplexer. Das bedeutet aber auch, dass der Faktor Information immer wichtiger wird. Schon heute fließt die Hälfte der Wertschöpfung in den Produktionsfaktor Information und ein steigender Dienstleistungsanteil führt zu einer weiteren Erhöhung. Es ist wichtig, dass das Informationsmanagement entlang des Wertstroms ausgerichtet ist. Hinzu kommt, dass die Maschinen selbst zunehmend durch Standardsoftware gesteuert werden. Dadurch wird es immer einfacher, auf die Produktionsdaten über Standardschnittstellen zuzugreifen.([15])

Ein neuer Managementansatz soll das Wissen aller Mitarbeiter des Unternehmens verfügbar machen. Bisher waren im Unternehmen die Informationen in den oberen Teilen der Hierarchie angeordnet, während auf den unteren Ebenen die Anweisungen lediglich umgesetzt wurden. Allerdings liegt das spezifische Fachwissen zum Produktionsvorgang und zu den Maschinen direkt bei den ausführenden Mitarbeitern. Dieses Wissen muss durch das Unternehmen erschlossen werden. Hier liegt die beste Qualifikation, unvorhergesehene Ereignisse, wie beispielsweise Maschinenausfälle, zu bearbeiten. Damit diese Mitarbeiter aber im Sinne des Unternehmens handeln, müssen die Geschäftsziele herunter gebrochen werden. Weiterhin müssen aktuelle und frühere Produktionsdaten zur Verfügung stehen.([15] S.33-39 und S.43-47)

Aus der Ausgangssituation und den relevanten Änderungen sollen im folgenden Abschnitt Anforderungen an ein allgemeines MES abgeleitet werden. Auf dieser Grundlage werden später Bedingungen entwickelt, die eine Softwarearchitektur eines MES erfüllen muss.

2.1.4. Anforderungen an ein MES

Modularer Aufbau Ein MES sollte die Funktionalität der Bereiche Produktion, Personal und Qualitätssicherung vereinen. Das ist für die Erhöhung der Datenqualität von entscheidender Bedeutung. Es muss aber auch möglich sein, bestimmte Funktionen auf andere Systeme abzubilden. In diesem Fall ist ein modularer Aufbau von Vorteil, denn dann kann das entsprechende Modul entfernt werden.([20], [14])

Integrationsplattform Die Anforderungen eines Unternehmens an seine Softwaresysteme sind so individuell wie die Unternehmen selbst. Häufig werden eigens entwickelte Speziallösungen eingesetzt. Das MES muss die Möglichkeit der Integration dieser Anwendungen bereithalten. Dabei ist besonders auf die Anbindung an die anderen Funktionsgruppen zu achten. Nur so ist eine einheitlich gute Datenqualität zu erreichen. Weiterhin soll die Integration neuer Technologien ermöglicht werden. Der Fortschritt gerade im Softwarebereich ist enorm. Regelmäßig entstehen neue Basistechnologien, deren Einsatz einen Wettbewerbsvorteil verspricht.([20], [14])

Bereitstellen von standardisierten Schnittstellen Eine Ausrichtung der IT-Systeme an der Wertschöpfungskette erfordert standardisierte Schnittstellen zwischen den Schichten der Unternehmenssoftware. Der Prozess der Leistungserbringung benötigt Funktionen aus allen drei Schichten. Beispielsweise stellt das ERP die Grobplanung zur Verfügung, mit der im MES die konkrete Produktionsplanung durchgeführt wird. Bei der Produktionsdurchführung werden Steuerbefehle an die Automationsschicht gesendet und Prozessdaten empfangen. Die zum Austausch der Daten erforderlichen Schnittstellen müssen im MES zur Verfügung gestellt werden. Ein weiterer Aspekt dieser Forderung ist die Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen. Dabei sind Schnittstellen anzubieten, die den Informationsaustausch über die Unternehmensgrenzen hinweg ermöglichen.([23], [54], [14])

Abbau von Medienbrüchen Der Abbau von Medienbrüchen verlangt eine enge Vernetzung aller an der Wertschöpfungskette beteiligten Systeme. Dabei soll besonders die manuelle Informationsweitergabe über Papier oder Datenträger überflüssig werden.([23], [54], [14])

Lückenlose automatische Datenerfassung in Echtzeit Zur Abbildung der Wertschöpfungskette müssen alle Informationen der beteiligten Prozesse erfasst werden. Durch den zunehmenden Computereinsatz stehen immer mehr Informationen zur Verfügung. Eine automatische Erfassung erhöht dabei die Akzeptanz bei den Mitarbeitern und verringert das Fehlerpotential. Weiterhin werden möglichst aktuelle Daten zur Unterstützung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) benötigt.([20], [33], [14] S.90-92)

Zentrale Datenbasis Die zentrale Datenbasis bietet eine weitere Möglichkeit, die Funktionsbereiche des MES zu verbinden. Beispielsweise könnten durch die Zusammenführung der Produktionsdaten und der Arbeitszeiten die Mitarbeiter gezielt mit Prämien belohnt werden.

Dadurch lässt sich die Motivation verbessern. Durch den zentralen Zugriff auf alle Informationen lassen sich leichter Anwendungen für Analysen oder Auswertungen realisieren. Weiterhin können zur Semantik standardisierte Informationsobjekte etabliert werden. Dadurch wird die Kommunikation zwischen Programmen innerhalb des MES vereinfacht. ([20], [33], [14] S.90-92)

Feinplanung Das MES sollte eine Funktion für den technologieorientierten Teil der Produktionsplanung bereitstellen. Diese Funktion wird als Feinplanung bezeichnet. Die Fertigungsplanung beginnt im ERP. Hier erfolgt die Grobplanung mit großem zeitlichem Horizont unter kommerziellen Randbedingungen. Die Feinplanung überführt die Grobplanung in exakte zeitliche Arbeitsabläufe. Dabei werden Maschinen, Werkzeuge und Mitarbeiter eingeteilt. Dieser Prozess orientiert sich an aktuellen Prozessdaten und technologischen Gegebenheiten. Beispielsweise fließt das Wissen, welches Werkzeug mit welcher Maschine kompatibel ist, in die Planung ein. ([54], [33])

Mitarbeiterspezifische Aufbereitung der Informationen Nur ein umfassend informierter Mitarbeiter kann im Sinne des Unternehmens handeln. Welche Informationen er bei der Arbeit benötigt, hängt von dem jeweiligen Arbeitsgang und den Unternehmenszielen ab. Dabei kann es sich um aktuelle Prozessdaten oder um frühere Ergebnisse desselben Arbeitsganges handeln. Kommt es zu einem unvorhergesehenen Problem, kann der Mitarbeiter auf Grundlage dieser Daten das beste Vorgehen wählen. Eine weitere wichtige Anforderung in diesem Zusammenhang ist die spezifische Aufbereitung der Informationen. Durch die automatisierte Datenerfassung hat sich die verfügbare Informationsmenge deutlich erhöht. Die Mitarbeiter sollen sich aber möglichst schnell einen Überblick über die für sie relevanten Vorgänge verschaffen können. Aus diesem Grund müssen die Informationen vorher verdichtet werden. ([55], [25], [47], [14] S.92/93)

Flexibilität und Transparenz Die Flexibilität der Unternehmenssoftware fördert in hohem Maße die Flexibilität des Unternehmens. Das bedeutet, dass Veränderungen in den Geschäftsprozessen zeitnah in den Softwaresystemen abgebildet werden müssen. Das MES soll also die Umsetzung von Änderungen der relevanten Prozesse schnell und einfach ermöglichen. Weiterhin sollen die Abläufe auf diese Weise nachvollziehbar werden. ([47], [25], [54], [14])

Unterstützung des prozessorientierten Ansatzes Nach dem prozessorientierten Ansatz lassen sich Ergebnisse effektiver erzielen, wenn die Betriebsmittel und die Tätigkeiten als Prozess geleitet werden. Die Hauptforderung im Bereich des Produktionsmanagement ist die Ausrichtung an der Wertschöpfungskette. Darüber hinaus sollen weitere Prozesse etabliert werden. Ein Beispiel ist der Lernprozess. Es gilt die Maxime, dass jeder Fehler das Unternehmen verbessern soll. Dazu gehören Identifikation systematischer Fehler, systematische Fehlerbearbeitung und Maßnahmenverfolgung. Das erfolgt auf Grundlage der zentralen Datenbasis. Weiterhin sollen rückgekoppelte Regelkreise eingeführt werden. Mit ihrer Hilfe soll schnell auf Fehler und Störungen reagiert werden. ([47], [25], [54], [33], [14])

2.1.5. Abgrenzung des MES Einsatzgebietes

In diesem Abschnitt soll das Einsatzgebiet des MES weiter gegenüber den anderen Systemen der Unternehmenssoftware abgegrenzt werden. Ziel ist die Erstellung eines groben funktionalen Umrisses, der das Gesamtbild des MES vervollständigt. Dabei ist zu beachten, dass die tatsächliche Funktionalität nicht genau festgelegt werden kann. Die Vielfalt der produzierenden Unternehmen mit jeweils eigenen Produktionsprozessen und die gewünschte Genauigkeit bei der Abbildung der Wertschöpfungskette schließen eine Standardsoftware weitestgehend aus. Daraus folgt, dass ein MES auf den jeweiligen Betrieb abgestimmt werden muss, um die erhofften Verbesserungen erzielen zu können. Es ist auf eine konsistente Gesamtlösung zu achten. ([53], [52])

Durch den starken wirtschaftlichen Bezug des MES-Begriffes sind innerhalb des Marktes unterschiedliche Definitionen entstanden. Das liegt daran, dass konkurrierende Hersteller versuchen, ihre Alleinstellungsmerkmale in der jeweiligen Diskussion zu betonen. Insgesamt lassen sich drei Sichtweisen unterscheiden. Eine Perspektive beschreibt das Produktionsmanagement als Erweiterung der Funktionalität der Unternehmensleitung. Diese Ansicht, die nur zwischen zwei Schichten unterscheidet, wird vor allem von ERP-Herstellern vertreten. Einen anderen Blickwinkel haben die Produzenten der Maschinen und Anlagen. Da diese immer häufiger durch Standardsoftware gesteuert werden, können sie um Funktionen des Produktionsmanagements erweitert werden. Die letzte Sichtweise, die auch in dieser Diplomarbeit vertreten wird, beschreibt ein MES als eigenständige Schicht. Diese Perspektive beschreiben Hersteller von MES-Lösungen. ([53], [54])

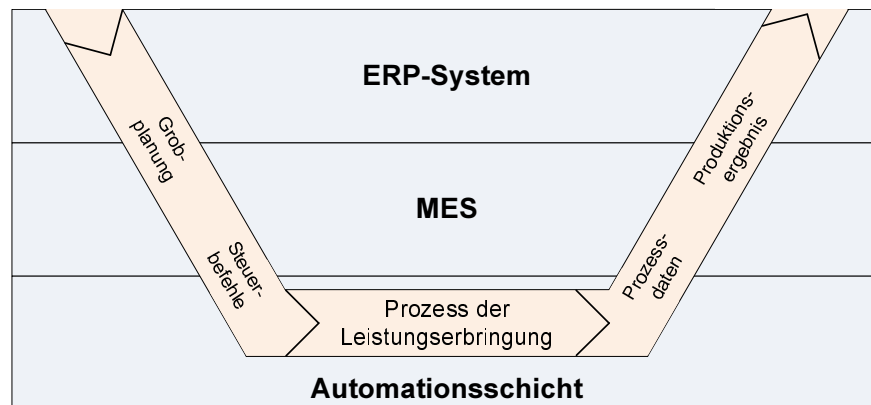


Abbildung 2.4.: Die drei Schichten der Unternehmens IT mit den ausgetauschten Daten

Um die Funktionalität der Schichten grob einzugrenzen, soll der Prozess der Leistungserbringung betrachtet werden. Dabei werden speziell die Übergänge der Schichtgrenzen untersucht. Das ERP führt eine grobe Disposition der Kundenaufträge durch. Diese Grobplanung wird dem MES übergeben und anschließend zu einer Abfolge detaillierter Arbeitsschritte verfeinert. Auf Grundlage der Planung erfolgt die Produktionsdurchführung. Dabei sendet das MES die Steuerungsbefehle an die Maschinen und Anlagen. Während der Ausführung werden Prozessdaten aufgenommen und an das MES übergeben. Aus diesen Informationen wird das

verdichtete Produktionsergebnis ermittelt und an das ERP übergeben. Im Anschluss daran wird der Prozess mit der Lieferung abgeschlossen. Der beschriebene Prozess mit den ein- und ausgehenden Daten des MES ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Eine detailliertere Betrachtung des Funktionsumfangs erfolgt in Kapitel 4. Als Vorlage für die serviceorientierte Analyse werden dann wesentliche Funktionsgruppen identifiziert. Zur Einführung in das Thema genügt jedoch die einfache Beschreibung.([53], [54])

Zum Abschluss der Thematik sollen die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst werden. Der Prozessgedanke spielt im MES eine tragende Rolle. Es werden Regelkreise eingerichtet, die Bewerten und Lernen explizit einplanen. Durch eine akribische Dokumentation der Wertschöpfungskette und eine realitätsnahe Abbildung der Prozesse wird eine hohe Transparenz erreicht. Auf diese Weise lassen sich Optimierungspotentiale methodisch identifizieren. Weiterhin werden die Ziele konsequent an den Prozessgrößen und damit an den technologischen Gegebenheiten ausgerichtet.([47], [25])

2.1.6. Die MES-Anforderungen, die durch die Softwarearchitektur erfüllt werden

Für die Untersuchung, ob sich eine SOA zur Umsetzung eines MES eignet, müssen Anforderungen an ein MES abgeleitet werden, die seine Softwarearchitektur betreffen.

Die bisherigen Ausführungen in diesem Kapitel dienen dafür als Grundlage. Mit deren Hilfe konnten folgende Anforderungen identifiziert werden:

- Modularer Aufbau, einfache Austauschbarkeit der Module
- Leichte Integration fremder Systeme
- Zentrale Datenhaltung
- Einheitliche, standardisierte Datenobjekte (Semantik)
- Flexibilität bei Änderungen der Geschäftsprozesse
- Bereitstellen standardisierter Schnittstellen

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden wesentliche Eigenschaften und Architekturziele einer SOA erläutert. Mit diesen Informationen werden Gemeinsamkeiten zwischen den Konzepten von MES und SOA untersucht. Es ist das Ziel, mögliche Synergien zu identifizieren.

2.2. Serviceorientierte Architekturen

Es gibt bis dato keine einheitliche, formale und allseits akzeptierte Definition des Begriffes serviceorientierte Architektur. Ein Problem ist, dass er synonym für verschiedene Themen verwendet wird. Dabei reicht die Spanne von Modewort und Verkaufsargument bis erstzunehmende Entwicklung und zukunftsweisende Technologie. Beispielsweise gibt es viele Hersteller,

die ihre Produkte mit dem Schlagwort SOA bewerben. Andere behaupten, dass ihre Software für den Aufbau einer SOA notwendig ist. Dadurch entsteht der Eindruck, dass es SOA *Out of the Box* zu kaufen gibt. Ein weiteres Problem ist die Vermischung mit bestimmten Basistechnologien, wie etwa den Webservices. Um diese Unschärfe zu überwinden, werden als Erstes wichtige Eigenschaften einer SOA formuliert, die weitgehend anerkannt sind. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Bestandteile, Architekturziele und der Aufbau der Serviceschicht beschrieben. Dadurch soll das für diese Diplomarbeit interessante Bild einer SOA erstellt werden. Eine konkrete Definition ist für die Untersuchung der MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur wichtig.([36])

2.2.1. Begriffsbestimmung

Eine SOA ist ein abstraktes, technologieunabhängiges Architekturmuster, das aus lose gekoppelten Komponenten besteht. Es werden verschiedene Typen dieser Komponenten unterschieden. Die SOA beschreibt die Eigenschaften, ihre Rollen und die Interaktionsmuster. Der zentrale Bestandteil einer SOA ist dabei der Service. Die Grundidee besteht darin, dass ein Service eine klar abgegrenzte fachliche Funktion kapselt. Durch die Kombination der Services werden ganze Geschäftsprozesse abgebildet. Ein wichtiges Prinzip in diesem Zusammenhang ist die Technologieunabhängigkeit. Indem die Implementierungsdetails hinter einer standardisierten Schnittstelle verborgen werden, wird eine klare Trennung zwischen der fachlichen Funktion und seiner technischen Realisierung erreicht.([1], [5], [3], [43])

Eine mögliche Betrachtungsweise beschreibt eine SOA als Methode zur Softwareentwicklung. Einzelne Komponenten und Anwendungen werden dabei auf einer hohen Abstraktionsebene zu einem neuen Gesamtsystem kombiniert. Durch die Konzentration auf das Wesentliche soll die Komplexität zu entwickelnder Softwaresysteme bewältigt werden. Schon in der Vergangenheit wurden komplexe Probleme auf diese Weise zerlegt. Sowohl die funktionale als auch die objektorientierte Programmierung verfolgen dieses Ziel. Bezogen auf diese Entwicklungen kann die Serviceorientierung als nächster Schritt aufgefasst werden. Dostal, Jeckle, Melzer und Zengler [3] beschreiben dieses Vorgehen als *Programmierung im Großen*.([3] S. VII/VIII und S.17-19, [43], [2] S.1-9)

2.2.2. Gründe für einen Einsatz von SOA

SOA hat in der IT-Industrie einen Hype ausgelöst. Das ist ein Grund dafür, weshalb so unterschiedliche Definitionen existieren. In diesem Abschnitt werden Beweggründe für einen Einsatz von SOA erläutert. Auf dieser Grundlage werden Parallelen zu MES-Anforderungen untersucht.

Durch den Einsatz einer SOA sollen Geschäftsprozesse flexibler und transparenter in der IT abgebildet werden. Auf dem globalisierten Markt ist eine immer schnellere Veränderung der Anforderungen zu beobachten. Um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, müssen die Unternehmen flexibel auf diese Änderungen reagieren. Dazu ist es nötig, dass Modifikationen an Geschäftsprozessen zeitnah in den Softwaresystemen abgebildet werden. In einer SOA werden

die Prozesse durch Kombination fachlicher Funktionen umgesetzt. Dadurch sollen Änderungen durch einfache Umstrukturierung der beteiligten Funktionen auch ohne technologisches Hintergrundwissen ermöglicht werden. ([46], [18] S.1-3, [9] S.29-39, [2] S.1-32, [56])

Ein weiterer Grund ist die Integration von bestehenden Systemen in die neue Architektur. Dabei geht es insbesondere um Anwendungen, die speziell für das Unternehmen entwickelt wurden. Durch ihre Weiterverwendung werden die Investitionen geschützt und das enthaltene Wissen in die SOA übernommen. Die Applikationen stellen ihre Funktionalität innerhalb der SOA zur Verfügung, indem sie in Services gekapselt werden. Das soll zur Steigerung der Flexibilität beitragen. ([18] S.6-9, [7], [22] S.9/10, [43], [2] S.1-32)

2.2.3. Komponententypen und Interaktionsmuster innerhalb einer SOA

Ein Service ist die Grundkomponente einer SOA. Er besteht aus seinem Servicevertrag und seiner Implementierung. Dabei steht die fachliche Funktion, die er repräsentiert, im Mittelpunkt. Alle Implementierungsdetails werden vor dem Nutzer verborgen. Intern kann der Service auf verschiedene Weise realisiert sein. Beispielsweise kann es sich um eine Komponente, eine eigene Implementierung oder eine ganze Anwendung handeln. Der Servicevertrag besteht aus der Schnittstelle und der Servicebeschreibung. Dabei fasst die Schnittstelle die Basisoperationen zusammen, die der Dienst anbietet. In der Servicebeschreibung wird die Funktionalität dieser Operationen erläutert. Außerdem werden die erforderlichen Parameter sowie Vor- und Nachbedingungen definiert. Dieser Teil wird als funktionale Beschreibung des Services bezeichnet. Daneben werden nichtfunktionale Eigenschaften definiert. Das beinhaltet beispielsweise Metadaten, Anforderungen und Regeln zur Servicebenutzung sowie Laufzeit- und Verfügbarkeitszusicherungen. Innerhalb einer SOA kann ein Service die Rolle eines Dienstanbieters und die eines Dienstanwenders annehmen. Dabei stellt der Anbieter dem Nutzer seine Funktionalität zur Verfügung. Der Servicevertrag definiert dabei die zu erbringende Leistung. ([18] S.59-64, [5] S.131-142 und S.242-248, [3] S.13/14)

Das Serviceverzeichnis ist ein weiterer Bestandteil einer SOA. Es hat die Aufgabe, Dienstanwender und Dienstanbieter zusammenzuführen. Zu diesem Zweck werden die Verträge und die Adressen der Services, die sich auf dem Verzeichnis registriert haben, gespeichert. Der Dienstanwender kann diese Informationen nach einem passenden Anbieter durchsuchen. ([3] S.14/15, [18] S.60-62)

Die Technologieunabhängigkeit der SOA wird durch den Einsatz einer Laufzeitumgebung und einer Kommunikationsinfrastruktur umgesetzt. Die Laufzeitumgebung soll die Plattformunabhängigkeit der Services realisieren. Sie ist für die Entwicklung, den Betrieb, die Kombination und die Wartung ihrer Dienste zuständig. Weiterhin werden in der Laufzeitumgebung Sicherheitsaspekte, wie beispielsweise Authentifizierung und Authentisierung, realisiert. Die geforderte Technologieunabhängigkeit bezieht sich innerhalb der SOA sowohl auf die Services als auch auf ihre Kommunikation. Durch den Einsatz einer Kommunikationsinfrastruktur sollen die Verbindungen der SOA-Komponenten von den verwendeten Basistechnologien entkoppelt werden. ([3] S.12-16 und 19-24, [18] S.64/65, [22] S.8-11)

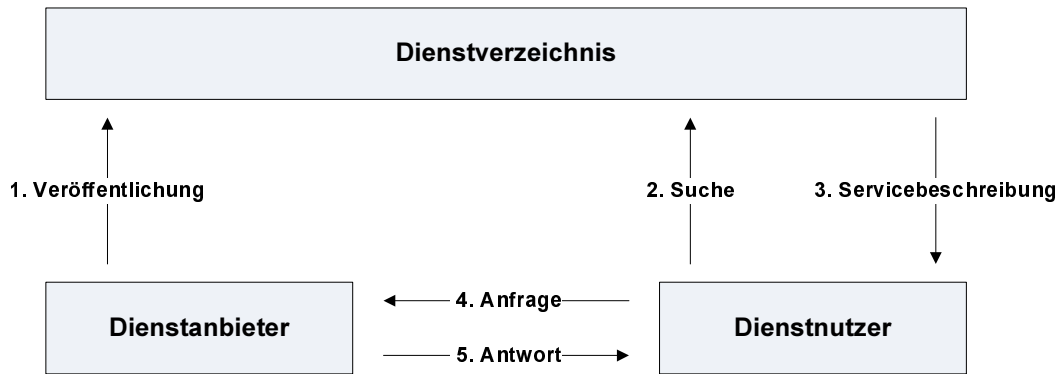


Abbildung 2.5.: Die Interaktionsmuster der Komponenten einer SOA ([3] S.12)

Das Interaktionsmuster einer SOA beschreibt das Zusammenspiel zwischen Dienstanutzer, Dienstanbieter und Serviceverzeichnis. Es kann in drei Abschnitte unterteilt werden. Zunächst muss der Dienstanbieter seine Funktionalität propagieren. Zu diesem Zweck registriert er sich beim Verzeichnis. Hier werden sein Servicevertrag und seine Adresse gespeichert. Gegebenenfalls wird der Dienst in bestimmte Kategorien eingeordnet, die das Suchen erleichtern. Vor der Verwendung eines Service definiert der Dienstanutzer eine benötigte Funktionalität. Damit stellt er eine Anfrage an das Verzeichnis, das ihm eine Liste möglicher Kandidaten liefert. Nachdem der Nutzer einen Anbieter ausgewählt hat, liefert das Verzeichnis alle zum Aufruf benötigten Informationen. Mit diesen Daten kann der Dienstanutzer im dritten Schritt eine Anfrage an den Dienstanbieter senden. Der Dienstanbieter bearbeitet diese Anfrage und liefert das Ergebnis zurück. Das beschriebene Muster ist in Abbildung 2.5 dargestellt. ([3] S.12-16)

2.2.4. Architekturziele und -prinzipien einer SOA

Wie bei der Definition einer SOA lässt sich auch in Bezug auf die wichtigsten Eigenschaften und Prinzipien kein Konsens in der Fachliteratur erkennen.

Aus diesem Grund soll im Anschluss eine Auswahl der wichtigsten Architekturziele und -prinzipien vorgestellt werden. Dabei wurden maßgeblich die Beiträge aus [Erl1] und [Erl2] verwendet und entsprechend ergänzt. Dabei wird gegebenenfalls auf ihre Bedeutung bei der Umsetzung eines MES hingewiesen.

Autonomie Die Autonomie ist definiert als die Freiheit, eigene Entscheidungen zu treffen, ohne Genehmigung oder Prüfung von außen. Sie bezeichnet demnach den Grad an Unabhängigkeit. Ein Service ist autonom, wenn er die vollständige und alleinige Kontrolle über seine Logik besitzt. Weiterhin wichtig ist die eindeutige fachliche Abgrenzung dieser Logik gegenüber der Logik anderer Services. Es wird auch von disjunkter Funktionalität gesprochen. Ziel der Autonomie ist es, Abhängigkeiten zwischen Services zu minimieren. Die beschriebene Kontrolle über die Logik ermöglicht Zuverlässigkeit und Berechenbarkeit. Außerdem wird die Performance gefördert. Die Serviceautonomie ist ein wichtiges Entwurfskriterium beim Aufteilen der Geschäftsprozesse in Services und beim Zusammenfassen bzw. Generalisieren von Operationen. ([5] S.303-307, [6] S.299-327, [7], [9] S.29-39)

Lose Kopplung Die Kopplung wird im IT-Kontext als Grad an Abhängigkeit definiert. Dabei gibt es aber keine einheitliche quantitative Beschreibung darüber, was eine lose oder enge Kopplung bedeutet. Ein Softwarefragment muss in jedem Fall in irgendeiner Weise an das System gekoppelt sein, um eine Leistung zu erbringen. Ziel ist es, eine SOA aus lose gekoppelten Services aufzubauen, die leicht ausgetauscht werden können und damit zur Flexibilität der SOA beitragen. In diesem Kontext soll die Kopplung innerhalb und zwischen den Services reduziert werden. Das bezieht sich einerseits auf die Unabhängigkeit der Serviceverträge von ihrer Implementierung und die Unabhängigkeit der Services voneinander. Dabei sollte das zur Servicenutzung benötigte Wissen reduziert werden. Erreicht wird dies durch einen wohldefinierten Servicevertrag, der von Technologie und Implementierungsdetails abgekoppelt ist. Dieses Vorgehen wird auch als Trennung von Schnittstelle und Implementierung bezeichnet. Diesem Architekturziel kommt bei der Umsetzung eines MES eine wichtige Bedeutung zu, denn dabei wird besonders auf eine gute Austauschbarkeit Wert gelegt. Dadurch sollen Geschäftsprozesse schnell angepasst und Altsysteme integriert werden. ([5] S.297/298, [6] S.175-214, [7], [9] S.29-39, [3] S.8-11, [2] S.91/92)

Abstraktion Allgemein wird in der Softwareentwicklung unter Abstraktion die Konzentration auf das Wesentliche und die Ausblendung unwichtiger Details verstanden. Es ist ein probates Mittel zur Komplexitätsbewältigung. Indem verschiedene Abstraktionsebenen unterschieden werden, lassen sich komplexe Systeme in beherrschbare Teile zerlegen. Bezogen auf einen Service ist unter Abstraktion das Verbergen von Informationen zu verstehen, es werden sozusagen nicht benötigte Informationen abstrahiert. Der Nutzer wird durch den Servicevertrag über Zweck und Fähigkeit des Services informiert. Alle Informationen, die der Dienstinutzer nicht zur Nutzung benötigt, werden verborgen. Das Problem in diesem Zusammenhang ist das richtige Maß dafür, welche Daten veröffentlicht werden und welche nicht. Werden zu viele oder zu wenige Informationen verborgen, kann sich die Wiederverwendbarkeit verschlechtern. Der Servicevertrag informiert den Nutzer über Interaktionsanforderungen, Einschränkungen und Metadaten. Details über Technologie und Implementierung werden hingegen verborgen. Durch dieses Black Box Prinzip kann sich der Service im Rahmen seines Vertrages ungehindert weiterentwickeln. Im Gegensatz zu anderen Prinzipien versucht die Abstraktion die im Servicevertrag veröffentlichten Informationen zu begrenzen. Bezugnehmend auf MES kann durch dieses Prinzip die Unabhängigkeit der Komponenten verbessert werden. Das unterstützt die Forderungen nach einem modularen Aufbau und standardisierten Schnittstellen. ([5] S.298-301, [6] S.219-254, [9] S.29-39, [2])

Servicevertrag Der Servicevertrag ist ein zentrales Thema beim Serviceentwurf. Grundsätzlich beschreibt er die Anforderung in formalen und standardisierten Verträgen. Der Inhalt wird dabei durch verschiedene weitere Prinzipien beeinflusst. Ziel ist es, dass alle Services eines Verzeichnisses beziehungsweise einer SOA gemeinsam standardisierte Verträge verwenden. Weiterhin soll die Interoperabilität der Services auf einer hohen Abstraktionsebene gesichert sowie ihr Zweck und ihre Fähigkeiten leicht und verständlich beschrieben werden. Diese

SOA-weite konsistente Beschreibung hilft dabei, Serviceendpunkte leichter interpretierbar und vorhersagbar zu gestalten. Darüber hinaus kann viel zur Semantik beigetragen werden. Der Servicevertrag an sich beinhaltet die Grenze des Service, alle Operationen mit den zugehörigen Ein- und Ausgabenachrichten sowie Regeln und Eigenschaften zur Nutzung des Service. Dabei wird zwischen funktionalen (Schnittstellendefinition) und nichtfunktionalen (Sicherheitsfragen, Transaktionsfunktionen) Eigenschaften unterschieden. Der Vertrag wird durch das Serviceverzeichnis publiziert, in dem gleichzeitig die Korrektheit, Aktualität und Verfügbarkeit überwacht werden. Durch das zentrale Verzeichnis werden redundante Operationen oder Services verhindert. Bei der Nutzung des Service begibt sich der Nutzer in Abhängigkeit von dem Servicevertrag. Das erfordert eine saubere Versionsverwaltung innerhalb des Verzeichnisses. ([5] S.295-297, [6] S.139-173, [3] S.12-16, [22] S.8-11, [49] S.16-23)

Wiederverwendbarkeit Die Wiederverwendbarkeit ist eines der wichtigsten Anliegen in einer SOA. Darunter wird die Fähigkeit, für mehr als einen Zweck nützlich zu sein, verstanden. Wiederverwendbarkeit drückt das Potential einer Software aus, wiederholt eingesetzt zu werden. Dadurch soll eine Wertsteigerung und eine Erhöhung des Return on Investment (ROI) erzielt werden. Dabei erfolgt die Umsetzung des Prinzips durch die Definition von agnostischer Logik. Das bedeutet, dass die Logik nicht für eine konkrete Anwendung oder einen Geschäftsprozess spezifiziert wurde. Ziel ist es, die Servicelogik wiederholt einzusetzen und ein agnostisches Servicemodell zu entwerfen. Weiterhin soll das Unternehmen in die Lage versetzt werden, sein Geschäft agil zu betreiben. Erreicht werden diese Ziele durch generalisierte Servicelogik, einen generischen und erweiterungsfähigen Vertrag und die Definition eines agnostischen, funktionalen Servicekontextes. Weiterhin sind nebenläufige Zugriffe erforderlich, um mehreren Nutzern gleichzeitig Zugriff auf den Service zu gewähren. Außerdem dürfen die ausgetauschten Nachrichten keine Logik enthalten und die Schnittstellendefinition sollte so allgemein wie möglich sein. Die Wiederverwendbarkeit fördert Services, die unabhängig von der Position im Geschäftsprozess entworfen werden. Dadurch wird der Umbau der Geschäftsprozesse bei Änderungen erleichtert und damit beispielsweise eine zentrale MES-Anforderung erfüllt. ([5] S.292-295, [6] S.259-297, [7], [9] S.29-39, [3] S.8-11, [2] S.11-32 und 89/90)

Komponierbarkeit Ein Grundgedanke des SOA-Konzeptes ist die wirksame und wiederholte Neuzusammensetzung kleinerer Services zu komplexen Anwendungen. Es definiert die Fähigkeit, verschiedene Services zur Lösung eines größeren Problems zusammenzusetzen. Es ist eine Analogie zum Softwareentwicklungsprinzip, bei dem Systeme in beherrschbare Teile zerlegt werden. Die Services werden dazu entworfen, unabhängig vom Kompositionskontext wertvolle Kompositionsteilnehmer zu sein. In diesem Zusammenhang ist die Komponierbarkeit eine Form der Wiederverwendbarkeit. Ein wichtiges Kriterium ist das Design der Schnittstelle. Die Operationen müssen standardisiert sein und eine ausgewogene Granularität aufweisen. Eine ideale SOA besteht aus hochgradig wiederverwendbaren Services, mit denen auch zukünftige Anforderungen erfüllt werden können. Die Komponierbarkeit fördert die Flexibilität der Geschäftsprozesse. Zum Beispiel soll ein MES auf diese Weise in die Lage versetzt werden,

relevante Änderungen zeitnah abzubilden.([5] S.301-303, [6] S.287-433, [7], [9] S.29-39)

Zustandslosigkeit Als Zustandsinformationen werden datenspezifische Informationen von aktuellen Aktivitäten eines Services bezeichnet. Nach dem Nachrichteneingang, das heißt während der Bearbeitung der Anfrage, ist ein Service naturgemäß voll von Zustandsinformationen. Es soll aber ein längerer Erhalt dieser Informationen vermieden werden. Das beinhaltet das Löschen der Zustandsinformationen nach der Anfrage, aber auch die Minimierung des zustandsbehafteten Zeitraums während der Bearbeitung. Auf diese Weise soll eine Beeinträchtigung der Serviceverfügbarkeit verhindert werden. Ein zustandsloser Service lässt sich leichter wiederverwenden und besser skalieren. Es ist wichtig, dass die Servicelogik geschäftsprozessunabhängig ist, damit keine Ablaufinformationen gespeichert werden müssen. Das muss besonders beim Schnittstellendesign, also beim Entwurf der Operationen, berücksichtigt werden.([5] S.307-309, [6] S.329-356)

Entdeckbarkeit Das Prinzip der Entdeckbarkeit lässt sich auf zwei Ebenen beschreiben. Die Services auf der einen Seite sollen entwurfsbedingt leicht zu finden und zu interpretieren sein. Dazu müssen Zweck und Fähigkeit des Dienstes verständlich beschrieben werden. Andererseits wird ein Verzeichnis, wie es in Kapitel 2.2.2 beschrieben ist, benötigt, um die Informationen SOA-weit verfügbar zu machen. Der Servicevertrag ist ein wichtiger Bestandteil dabei und trägt viel zur Entdeckbarkeit bei. Er muss sowohl die maschinenlesbaren Metadaten der Schnittstelle als auch für den menschlichen Benutzer geschriebene Erklärungen enthalten. Diese Verträge und die Registrierungseinträge im Verzeichnis müssen sorgfältig gepflegt werden. Eine gute Entdeckbarkeit soll die unabsichtliche Erzeugung von redundanten Services oder von Services mit redundanter Logik verhindern. Dadurch wird die Wiederverwendbarkeit unterstützt.([5] S.309-311, [6] S.363-386)

Neben diesen acht Prinzipien lässt sich noch eine Vielzahl weiterer in der entsprechenden Fachliteratur finden. Die wichtigsten sollen im Anschluss kurz erläutert werden.

Fachliche Orientierung Der Fokus beim Entwurf und Betrieb einer SOA liegt auf fachlichen Aspekten. Die Services kapseln fachliche Funktionen, die durch die Zerlegung der Geschäftsprozesse entstehen. Dabei sollen sie einen direkten oder indirekten Beitrag zur Wertschöpfung leisten. Sowohl die Services als auch die Funktionen und deren Parameter werden fachlich beschrieben. Beispielsweise verwenden die Operationen Geschäftsobjekte, bei denen nur die fachliche Bedeutung und nicht die reale Datenstruktur von Interesse ist. Es ist wichtig, dass auf Architekturebene fachlich über die Anordnung der Dienste diskutiert werden kann. Auf diese Weise sollen Änderungen der Geschäftsprozesse ohne technisches Hintergrundwissen durch einfache Neuordnung der Services umgesetzt werden. Sowohl MES als auch SOA haben die einfache und flexible Abbildung der Geschäftsprozesse als Ziel.([9] S.29-39, [49] S.16-23, [11], [2] S.1-9, [56])

Ausgewogene Granularität der Services Unter Granularität eines Services ist seine Größe beziehungsweise sein Funktionsumfang zu verstehen. Eine ausgewogene Granularität fördert Services, deren Größe eine optimale Wiederverwendbarkeit ermöglichen. Das bedeutet einerseits, dass die Services nicht zu speziell auf einen Anwendungsfall hin angepasst sein dürfen. Andererseits leidet bei Diensten, die zu viele Funktionen auf sich vereinen, die Flexibilität und die Performance. Es muss beim Serviceentwurf auf die richtige Balance geachtet werden. Ein weiteres Kriterium ist eine SOA-weit einheitliche Granularität. Nur auf diese Weise können ähnliche Services identifiziert und verglichen werden. Eine ausgewogene Granularität erleichtert das Neuordnen von Services und fördert die Wiederverwendbarkeit. ([7], [11], [2] S.94)

Dynamisches Binden Durch Einbinden werden neue Funktionen zu bestehenden Anwendungen hinzugefügt. Das dynamische Binden beschreibt das Hinzufügen von Services zur Laufzeit, ohne vorher die Adresse zu kennen. Eine darüberhinausgehende Forderung verlangt das automatische Binden funktionsgleicher Services bei einem Ausfall. Dabei muss aber das Problem der Semantik beachtet werden. Ein Rechner kann nicht entscheiden, ob zwei Funktionen eine gleichartige Funktionalität bereitstellen. ([22] S.16-23)

Von den gerade vorgestellten Architekturzielen werden am Ende des Kapitels diejenigen ausgewählt, mit deren Hilfe die identifizierten MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur besonders gut umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang erfolgt auch eine Analyse der Beziehungen dieser Prinzipien. Es existieren zahlreiche Querverbindungen zwischen den beschriebenen Architekturzielen. Beispielsweise fördern eine lose Kopplung und eine ausgewogene Granularität die Wiederverwendbarkeit des Services. Aus dieser Untersuchung werden schließlich die wichtigen Ziele und Prinzipien abgeleitet, mit denen im weiteren Verlauf dieser Arbeit der zu erstellende Serviceentwurf bewertet wird.

2.2.5. Die Serviceschicht und ihre Einordnung in der Unternehmenssoftware

Die vorgestellten Architekturziele lassen sich nicht alle während des Serviceentwurfs umsetzen. Einige werden maßgeblich durch den Aufbau der Serviceschicht realisiert. Aus diesem Grund soll im Folgenden diese Ebene detailliert beschrieben werden.

Ein Unternehmen kann formal durch seine Wertschöpfungskette beschrieben werden. Darin enthalten sind alle Tätigkeiten, die der Leistungserbringung direkt oder indirekt dienen. Diese Prozesse werden als Geschäftsprozesse bezeichnet. Sie enthalten fachliche Anforderungen und durch Basislogikelemente verbundene Geschäftsfunktionen. Die IT-Systeme eines Unternehmens bilden die Anwendungslogik. Sie sollen die Geschäftsprozesse unterstützen und abbilden. Dabei wird die Struktur der Softwarelandschaft in hohem Maße von der horizontalen Abteilungsstruktur beeinflusst.

Die Serviceorientierung bietet ein neues Konzept, wie die Geschäftsprozesse durch die Anwendungslogik modelliert und umgesetzt werden. Technologieunabhängigkeit und fachliche

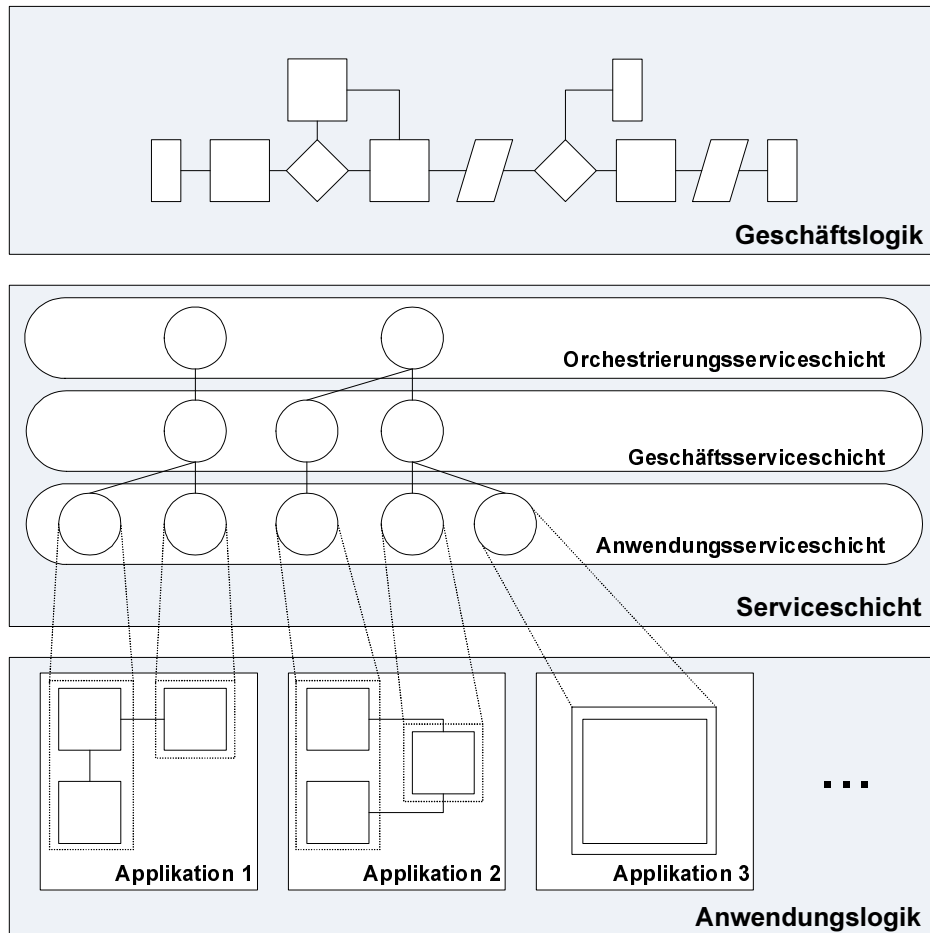


Abbildung 2.6.: Die Einordnung und der Aufbau der Serviceschicht ([5] S.337)

Orientierung sollen Prozesse und Anwendungen entkoppeln. Die Services bilden somit eine Zwischenschicht zwischen beiden Bereichen. Diese Schicht wird als Serviceschicht bezeichnet und kann in drei Ebenen unterteilt werden. Diese Ebenen werden nachfolgend im Einzelnen beschrieben. Jede einzelne erhöht das Abstraktionsniveau und verbirgt bestimmte Eigenschaften der Ebene darunter. Das Zusammenspiel zwischen der Serviceschicht sowie der Anwendungs- und Geschäftslogik ist in Abbildung 2.6 dargestellt. ([5] S.325-353, [11])

Anwendungsserviceschicht Das Prinzip der losen Kopplung erfordert eine physische Trennung der Services von der realen Umsetzung in der Anwendung. Diese Trennung wird in der untersten Serviceschicht umgesetzt, die deshalb auch als Anwendungsserviceschicht (ASS) bezeichnet wird. Die Funktionalität der Applikationen wird in Services gekapselt und innerhalb der SOA wiederverwendbar zur Verfügung gestellt. Dabei ist der entstehende Service in hohem Maße von der zugrundeliegenden Anwendungsstruktur abhängig. Daher besitzen die Services der ASS keine einheitliche Granularität. Weiterhin werden von den Applikationen technologiespezifische Funktionen angeboten. Diese Spezifika werden ebenfalls gekapselt. Dadurch wird in der SOA die Plattformunabhängigkeit realisiert. Neben den SOA-spezifischen Aufgaben können über die ASS ebenso Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen den beteiligten

Systemen verwirklicht werden.([5] S.337-341)

Geschäftsserviceschicht Die Services der Geschäftsserviceschicht (GSS) repräsentieren fachliche Objekte oder Abläufe. Sie werden aus einem oder mehreren Anwendungsservices der ASS zusammengesetzt. Die Geschäftsservices repräsentieren fachliche Funktionen, die direkt im Geschäftsprozess Verwendung finden. Aus diesem Grund werden sie auch durch Zerlegung der Prozesse identifiziert. Es ist darauf zu achten, dass Geschäftsservices keinerlei Anwendungslogik enthalten. Auf diese Weise würde das Abstraktionskonzept unterhöhlt. Betreffende Services werden der ASS zugewiesen.([5] S.341-344)

Orchestrierungsserviceschicht In der Orchestrierungsserviceschicht (OSS) werden die fachlichen Funktionen der Geschäftsservices zu Geschäftsprozessen zusammengebaut. Dabei realisieren die sogenannten Prozessservices die Abläufe innerhalb der Prozesse und die enthaltene Logik. Dadurch werden im Sinne der Agilität die Abhängigkeiten zwischen den Geschäftsservices minimiert. Anders ausgedrückt wird die Geschäftslogik in Serviceabläufen abgebildet. Durch die Technologieunabhängigkeit können Mitarbeiter ohne technisches Hintergrundwissen Änderungen in der Abbildung der Geschäftsprozesse vornehmen.([5] S.344-346)

2.2.6. SOA und Webservices

Abschließend soll auf den Zusammenhang bei der Entstehung von SOA und Web-services eingegangen werden. Obwohl der SOA-Begriff in dieser Arbeit technologieunabhängig und damit völlig losgelöst von Webservices definiert wird, werden beide Themen in anderen Quellen in engem Zusammenhang dargestellt. Der Entwurf einer SOA sollte ihre Architekturziele und die fachlichen Anforderungen berücksichtigen. Dennoch muss an irgendeiner Stelle der Schritt in die Implementierung erfolgen. Dabei stellt sich die Frage nach der technischen Realisierung. An dieser Stelle kommt häufig die Webservicetechnologie zum Einsatz. Das liegt vor allem daran, dass es sich dabei um einen weit verbreiteten und allgemein anerkannten Standard handelt. Das bedeutet aber keinesfalls, dass eine SOA zwangsläufig auf Webservices basiert. Es bedeutet vielmehr, dass die durch die SOA geforderte Interoperabilität und die möglichst breite Zusammenarbeit mit anderen Services durch den Einsatz von Webservices momentan besonders gefördert wird. Durch die Standardisierung der Webservices und die versprochenen Vorteile einer SOA, haben sich beide Konzepte gegenseitig genährt. Dennoch gilt gerade in der IT die Konstanz des Wandels. Daher sollte vor dem Einsatz einer SOA stets überprüft werden, ob nicht schon eine neue Technologie existiert, die den Webservices genau diesen Vorteil nehmen könnte.(u.a. [11], [2] S.1-9)

2.3. Synergien zwischen den Konzepten von MES und SOA

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels wurde das Konzept der Manufacturing Execution Systems eingehend erläutert und Anforderungen an die Softwarearchitektur abgeleitet. Nun soll

untersucht werden, inwieweit sich diese Anforderungen durch eine SOA umsetzen lassen und welche Eigenschaften und Architekturziele sie unterstützen.

Anhand dieser Ausführung lässt sich leicht erkennen, dass viele Synergien zwischen den Konzepten von MES und SOA existieren. Darunter zählt beispielsweise unter anderem der modulare Aufbau. Eine SOA besteht aus lose gekoppelten Komponenten, den sogenannten Services. Diese sind voneinander unabhängig und erfüllen jeweils fachliche Funktionen. Erst die Kombination der Services ermöglicht die Abbildung der Geschäftsprozesse. Diese Unabhängigkeit fördert zudem eine leichte Austauschbarkeit der Services. Dadurch kann der modulare Aufbau eines MES aber auch die leichte Integration von Fremdsystemen ermöglicht werden. Diese Forderungen werden ebenfalls durch standardisierte Schnittstellen unterstützt. Eine weitere wichtige Gemeinsamkeit beider Konzepte ist die geforderte Flexibilität der Geschäftsprozesse. Dabei handelt es sich um eine Forderung, die auf Softwarearchitekturebene umgesetzt werden muss.

Im Folgenden werden die einzelnen Forderungen, die ein MES an seine Softwarearchitektur stellt, untersucht. Aus dieser Analyse erfolgt die Ableitung relevanter Architekturprinzipien.

Modularer Aufbau, einfache Austauschbarkeit der Module Ein modularer Aufbau beschreibt die Zerlegung eines Systems in möglichst unabhängige Teile. Das ist auch ein Grundgedanke bei einer SOA. Durch das Konzept der losen Kopplung wird einerseits die Unabhängigkeit der Services gefördert. Andererseits wird die Austauschbarkeit ermöglicht, weil das Wissen zur Benutzung anderer Services auf die Schnittstellendefinition beschränkt ist. Auch das Architekturziel Abstraktion fördert diese Unabhängigkeit.

Leichte Integration fremder Systeme Kernkonzept der SOA ist die Technologieunabhängigkeit. Jeder Bezug zu einer speziellen Plattform wird gekapselt, die Funktionalität plattformunabhängig durch standardisierte Services zur Verfügung gestellt. Die angebotenen Dienste können einerseits von fremden Systemen in Anspruch genommen werden, auf die gleiche Weise kann aber auch das Fremdsystem seine Leistungen zur Verfügung stellen. Die Integration ist folglich zentraler Bestandteil einer SOA.

Zentrale Datenhaltung Dieses Ziel lässt sich nicht auf Serviceebene realisieren, da die Services von den zugrundeliegenden Legacysystemen abstrahieren. Eine SOA stellt aufgrund ihrer Technologieunabhängigkeit keine Forderungen an die Datenspeicherung. Außerdem muss beachtet werden, dass weiterverwendete Applikationen und Fremdsysteme in der Regel über eine eigenständige Datenhaltung verfügen. Die Wiederverwendung dieser Systeme widerspricht folglich der zentralen Datenhaltung. Auf fachlicher Ebene kann jedoch ein zentraler Zugriff auf die Informationen realisiert werden. Zu diesem Zweck werden die benötigten Daten in disjunkten Geschäftsobjekten zusammengeführt. Wenn alle Anwendungen über diese Schicht auf die Daten zugreifen, kann eine zentrale Datenhaltung simuliert werden. An dieser Stelle muss dann aber die Integrität überwacht und die auftretenden Redundanzen kontrolliert werden. Die damit verbunden Probleme müssen im Rahmen der Softwarearchitektur gelöst werden.

Einheitliche, standardisierte Datenobjekte (Semantik) Wie bereits beschrieben, können Geschäftsservices unter anderem Geschäftsobjekte repräsentieren. Indem sich alle Beteiligten auf eine Definition der Geschäftsobjekte einigen, kann die Kommunikation zwischen den beteiligten Systemen auf fachlicher Ebene vereinheitlicht werden. Unterstützt wird dieses Vorgehen durch die Architekturziele fachliche Orientierung und Abstraktion.

Flexibilität bei Änderungen der Geschäftsprozesse Die hier geforderte Flexibilität ist auch ein zentrales Anliegen einer SOA. Es ist ein wichtiges Argument für ihren Einsatz. Erreicht wird dieses Ziel einerseits durch lose Kopplung, weil dadurch die Abhängigkeiten zwischen den Services minimiert und so die Austauschbarkeit gefördert wird. Auf der anderen Seite ist Komponierbarkeit wichtig, um die Services in einer beliebigen Reihenfolge anzuordnen. Beide zusammengenommen bilden die Grundlage für die geforderte Flexibilität. Weiterhin ist eine ausgewogene Granularität von entscheidender Bedeutung. Wird ein Geschäftsprozess lediglich auf wenige grob geschnittene Services abgebildet, gibt es keinen Spielraum zur Umgestaltung. Andererseits sind zu feine Services eventuell so speziell auf den bestehenden Geschäftsprozess angepasst, dass sie nicht in einem anderen Kontext verwendet werden können.

Bereitstellen standardisierter Schnittstellen Diese Anforderung ist deckungsgleich mit den Zielen einer SOA. Unterstützt wird sie durch die Prinzipien fachliche Orientierung und Abstraktion.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Konzepte viele Gemeinsamkeiten verbinden und sich daher eine SOA für die Umsetzung eines MES eignet und anbietet. Abschließend werden die identifizierten Architekturziele zusammengefasst:

- Lose Kopplung
- Abstraktion
- Fachliche Orientierung
- Komponierbarkeit
- Ausgewogene Granularität

Im folgenden Abschnitt werden die Beziehungen zwischen den Prinzipien untersucht. Dadurch werden zusammengesetzte Ziele aufgelöst und Abhängigkeiten identifiziert. Erst durch diese Analyse ergeben sich die Architekturziele, die für die Eignungsuntersuchung relevant sind.

2.4. Identifikation relevanter SOA-Prinzipien

Die lose Kopplung ist eine Basiseigenschaft von serviceorientierten Architekturen und dient für weitere Prinzipien als Grundlage. Beispielsweise erfordert die Komponierbarkeit und die Wiederverwendbarkeit eine lose Kopplung der Services.([5] S.315/316)

Das Architekturziel Abstraktion wird unterstützt durch einen wohldefinierten Servicevertrag. Dadurch kann die gekapselte Funktionalität beschrieben und die Implementierung verborgen werden. Ebenfalls verbunden mit diesem Prinzip ist die Granularität, die durch das Abstraktionsniveau beeinflusst wird. Sie verlangt eine gute Mischung aus Generalisierung und Spezialisierung der Services und muss bei deren Entwurf entsprechend berücksichtigt werden. Beispielsweise sollte ein gefundener Service auf Einsatzmöglichkeiten in anderen Kontexten überprüft und entsprechend konzeptioniert werden. ([5] S.316-317, [7])

Bei der Komponierbarkeit handelt es sich um ein komplexes Prinzip, das durch verschiedene andere Architekturziele beeinflusst wird. Komponierbarkeit wird hauptsächlich durch eine gute Wiederverwendbarkeit ermöglicht, denn dadurch kann ein Service in mehreren Kontexten genutzt werden. Weiterhin ist eine lose Kopplung wichtig, denn sie fördert die Minimierung der Abhängigkeiten zwischen den Services. Unabhängige Services lassen sich besser miteinander kombinieren, denn es müssen weniger Voraussetzungen erfüllt werden. Förderlich sind weiterhin die Architekturziele Autonomie und Zustandslosigkeit. Kann ein Service verschiedene Zustände annehmen, so müssen diese bei der Verknüpfung mit anderen Services berücksichtigt werden. Dadurch wird die Zusammenschaltung schwieriger. Neben den genannten Zielen spielt ein wohl definierter Servicevertrag eine wichtige Rolle, denn damit werden die Bedingungen der Zusammenarbeit zwischen Services definiert. ([5] S.317/318)

Die fachliche Orientierung ist von den anderen Prinzipien abgegrenzt, denn sie stellt eine Eigenschaft des gesamten Entwurfsprozesses dar. Dabei geht es in erster Linie um das Gesamtbild der SOA und nicht um die Entwicklung einzelner Services. Der fachlichen Orientierung wird Rechnung getragen, indem das Geschäftsmodell erstellt und im Anschluss auf Services abgebildet wird. ([9] S.29-39, [49] S.16-23)

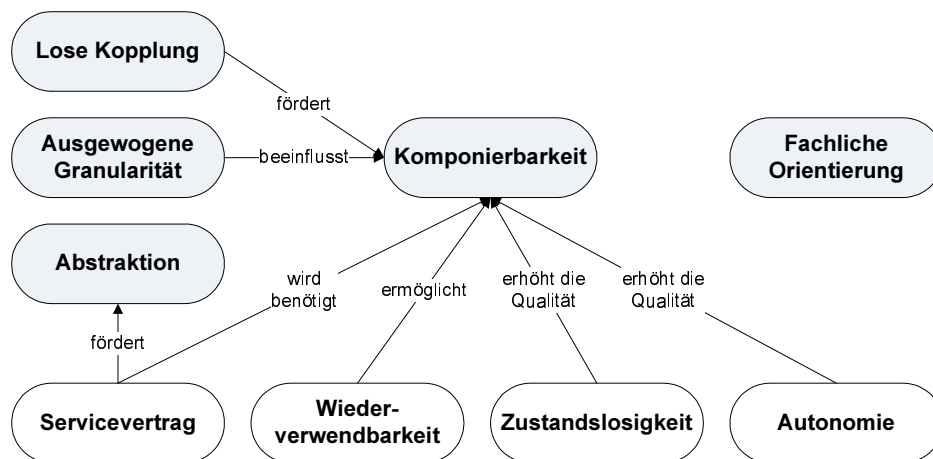


Abbildung 2.7.: Die Beziehungen der identifizierten Prinzipien

Die Analyse der Beziehungen ist zur besseren Übersicht in Abbildung 2.7 dargestellt. Sie zeigt, dass die Prinzipien und Eigenschaften einer SOA eng miteinander verbunden sind.

Es ist zu beachten, dass nicht alle Architekturziele während der Entwurfsphase berücksichtigt werden können. Beispielsweise wird der vollständige Servicevertrag erst nach der Implementierung des Service vorliegen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Konzeption der

Services unter Verwendung der Geschäftsprozesse. Damit werden unter anderem die Auswahl der Infrastrukturelemente und die Implementierung der Services nicht betrachtet. Aus diesem Grund wurden folgende Architekturziele für diese Diplomarbeit ausgewählt:

- Lose Kopplung
- Ausgewogene Granularität
- Abstraktion
- Wiederverwendbarkeit
- Zustandslosigkeit
- Fachliche Orientierung

Die Komponierbarkeit wird nicht betrachtet, weil sie sich aus anderen Architekturzielen zusammensetzt. Das Prinzip der Autonomie wird maßgeblich durch die Implementierung umgesetzt und ist ebenfalls in dieser Arbeit nicht von Interesse. Mithilfe der abgeleiteten Eigenschaften und Architekturziele wird letztlich die Eignung des zu erstellenden Serviceentwurfs bewertet. Als Nächstes werden wichtige Entwurfsmethoden serviceorientierter Architekturen untersucht. Dabei erfolgt auf Grundlage der identifizierten Prinzipien jeweils eine Bewertung, ob sich ihr Einsatz im betrachteten Fall anbietet.

3. Vorstellung und Bewertung serviceorientierter Entwurfsmethoden

In diesem Kapitel werden Entwurfsmethoden für serviceorientierte Architekturen vorgestellt und auf ihre Eignung bei der Entwicklung eines MES hin bewertet. Grundlage für diese Bewertung sind die Architekturziele, die im letzten Kapitel abgeleitet wurden. Aufgrund der Unschärfe des SOA-Begriffes wird bei jeder Methode am Anfang die zugrundeliegende Definition angesprochen. Daraus lässt sich ableiten, welchen Eigenschaften und Architekturprinzipien besondere Bedeutung beigemessen wird. Im Anschluss daran wird die Methode eingehend erläutert. Dabei hängt der Detaillierungsgrad vom Umfang der Quelle ab. Abschließend wird jede Entwurfsmethode auf ihre Eignung zur Umsetzung der identifizierten Architekturziele hin bewertet. Um später die Arbeitsschritte verschiedener Verfahren zu kombinieren, soll dabei detailliert auf Vor- und Nachteile eingegangen werden.

Eine einheitliche und allgemeingültige Entwurfsmethode für eine beliebige SOA existiert nicht. Die jeweiligen Randbedingungen und örtlichen Voraussetzungen eines Projektes stellen unterschiedliche Anforderungen an die Methode. Aus diesem Grund ist die Übersicht über alternative Ansätze wichtiger als die genaue Kenntnis eines speziellen Verfahrens. Aus diesem Grund werden auch Arbeitsschritte erläutert, die nicht beim späteren SOA-Entwurf eingesetzt werden.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden verschiedene Arbeitsschritte der Entwurfsmethoden aus diesem Kapitel kombiniert. Dabei wird das fachliche Konzept eines MES erstellt, das auf einer SOA basiert. In diesem Zusammenhang wird die eingesetzte Methode detailliert erläutert. Daher wird in diesem Kapitel auf eine Zusammenfassung verzichtet.

3.1. Agiler SOA-Entwurf mit Self Diagnosis

3.1.1. Systemintegration mit Hilfe von SOA

Lämmer[26] misst dem Zusammenspiel der verschiedenen Softwaresysteme einer unternehmensweiten heterogenen IT-Landschaft eine große Bedeutung bei. Der Einsatz einer SOA soll die Vernetzung bestehender und die Integration neuer Komponenten erleichtern. Dabei geht es insbesondere darum, verschiedene Systeme über eine Schnittstelle zu verbinden, die Kommunikation durch einen zentralen Baustein zu realisieren und einheitliche Geschäftsobjekte zu verwenden. Um die Investitionen zu schützen und das entsprechende Wissen zu erhalten soll bestehender Quellcode der Legacy-Systeme weiterverwendet werden. Dabei muss bestimmt werden, welche Codefragmente mit welcher Funktion verbunden sind. Dies erfordert einen di-

rekten Eingriff in den Quellcode der Altanwendung und damit gute Kenntnisse über Programmiersprache, Architektur und Anwendungskontext. In diesem Sinne wird dem Architekturziel Abstraktion große Bedeutung beigemessen. ([26])

3.1.2. Stufenweiser SOA-Entwurf unter Verwendung von Legacy Systemen

Der agile SOA-Entwurf mit *Self Diagnosis* kann in vier Schritte unterteilt werden ([26]):

1. System zerlegen: Zu Beginn der Methode werden die Hauptfunktionen der Softwaresysteme, die in die SOA integriert werden sollen, hierarchisch zerlegt. Dabei gilt es das Problem der Servicegranularität zu lösen. Zu große Services lassen sich schwieriger benutzen und verschlechtern so die Wiederverwendbarkeit. Im Gegensatz dazu bringen zu kleine Services Probleme bei der Performance und Orchestrierung mit sich. Um eine ausgewogene Granularität zu erhalten wird daher ein hierarchischer Ansatz mit drei Ebenen verwendet. In der ersten Ebene wird die Hauptfunktionalität, also die allgemeinen Aufgaben der Systeme, eingeordnet. Die nächste Schicht enthält Funktionen, die von den Anwendungen zur Erfüllung der Hauptaufgaben bereitgestellt werden. Dabei sind insbesondere solche Funktionen interessant, welche von mehreren Aufgaben verwendet werden oder genutzt werden könnten. Die dritte Ebene enthält die Geschäftsobjekte und damit die Grundlage für die Funktionen. Während des Serviceentwurfs werden die Funktionen der mittleren Schicht in Services gekapselt.
2. Vorbereitung und Mapping: Im zweiten Schritt werden die Funktionen und Geschäftsobjekte auf Gemeinsamkeiten untersucht. Ziel ist es, ähnliche Funktionen zusammenzufassen und damit die benötigte Programmmenge zu reduzieren. Dabei ist es wichtig, dass die betrachteten Funktionen im selben Kontext definiert sind. Geeignete Kandidaten werden später durch Generalisierung zusammengeführt.
3. Auffinden und Zuweisen von Services zu Codefragmenten: Die gefundenen Services sollen nun mit Quellcode aus den Legacysystemen in Verbindung gebracht werden. Zu diesem Zweck wird die Methode *Self Diagnosis* angewendet, bei der Diagnosepunkte in den Quellcode eingebaut werden. Mit Hilfe dieser Punkte wird analysiert, welche Codefragmente mit der jeweils untersuchten Funktion verbunden sind. Der gefundene Quellcode wird anschließend in einem Service gekapselt. Falls dabei Funktionen zusammengeführt werden, muss in diesem Zuge die Generalisierung erfolgen.
4. Orchestrierung der Services: Im letzten Schritt werden die erstellten Services zu Geschäftsprozessen zusammengefügt.

3.1.3. Bewertung

Bei der beschriebenen Methode handelt es sich um eine grobe Beschreibung für den Entwurf einer SOA. Dabei wird auf einer bestehenden Systemlandschaft aufgebaut, deren Wiederverwendung eine zentrale Bedeutung zukommt. Im Gegensatz dazu wird bei dieser Diplomarbeit

von einem kompletten Neuentwurf ausgegangen. Aus dieser Diskrepanz folgt auch eine unterschiedliche Definition von Wiederverwendbarkeit. Lämmer [26] bezieht explizit die Wiederverwendung bestehender Codefragmente mit ein. Dem Serviceentwurf selbst fehlt die fachliche Orientierung, weil im Wesentlichen die Funktionalität bestehender Systeme zerlegt wird. Die beschriebene hierarchische Zerlegung, die für eine ausgewogene Servicegranularität sorgen soll, kann allerdings auf fachliche Funktionen übertragen werden. Dasselbe gilt für die Identifikation ähnlicher Funktionen, mit der die Wiederverwendbarkeit erhöht werden kann. Generell können die Schritte übertragen werden, welche vor dem Eingriff in den Quellcode erfolgen. Allerdings handelt es sich dabei um eine sehr grob gefasste Anleitung, die sich nur bedingt als Arbeitsanweisung eignet.

3.2. serviceorientierter Softwarelebenszyklus

3.2.1. Serviceorientierter Entwicklungsprozess

Auf die von Erl [5] vorgeschlagene Definition einer SOA wurde in dieser Arbeit schon häufig eingegangen. In der nun beschriebenen Entwurfsmethode wird der traditionelle Softwarelebenszyklus für serviceorientierte Architekturen adaptiert. Die entstandenen sechs groben Phasen sind in Abbildung 3.1 dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

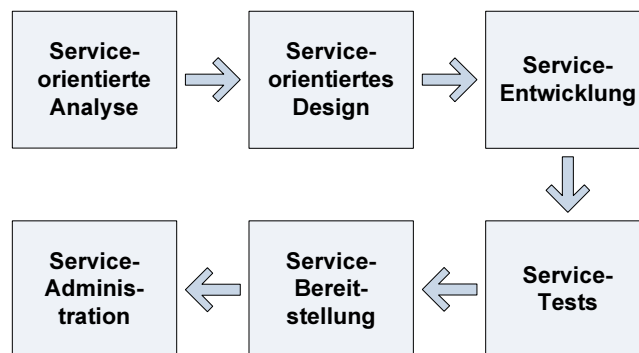


Abbildung 3.1.: Die Phasen des serviceorientierten Lebenszyklus nach Erl[5]

1. Serviceorientierte Analyse: In dieser Phase wird der potentielle Bereich der SOA und die Serviceschicht festgelegt. Es werden Servicekandidaten erstellt.
2. Serviceorientiertes Design: Beim Design werden Industriekonventionen, technische Randbedingungen und serviceorientierte Prinzipien verbunden. Dabei werden grundlegende Entscheidungen des Serviceentwurfs getroffen.
3. Service-Entwicklung: Im dritten Schritt erfolgt die eigentliche plattformabhängige Implementierung. Dazu werden zu Beginn die Entwicklungsumgebung und die Programmiersprache ausgewählt.
4. Service-Tests: Um Wiederverwendbarkeit und Flexibilität sicherzustellen, sind umfangreiche Tests erforderlich. Dabei werden potentielle Dienstanutzer identifiziert und eine

leichte Kombinierbarkeit sichergestellt. Weiterhin wird überprüft, ob alle Service Policy Versprechen eingehalten wurden.

5. Service-Bereitstellung: In diesem Schritt wird die Infrastruktur installiert.
6. Service-Administration: Die letzte Phase beschreibt die Überwachung des produktiven Einsatzes. Dabei geht es um normale Aufgaben des Anwendungsmanagements wie Versionskontrolle, Monitoring oder Performancekontrolle.

Der Lebenszyklus beschreibt eine grobe Strukturierung des Entwicklungsprozesses. Die genaue Umsetzung kann je nach den Voraussetzungen von Fall zu Fall variieren. Insbesondere unterscheidet Erl [5] drei verschiedenen Strategien:

- Top-Down-Strategie: Bei dieser Strategie werden die Services während der Analyse der Geschäftsprozesse identifiziert. Damit spielen ausschließlich fachliche Aspekte beim Serviceentwurf eine Rolle. Voraussetzung dafür ist, dass eine Ontologie definiert und das Geschäftsmodell aufgestellt wurde. Die Top-Down Strategie entwickelt eine hochwertige SOA. Sie fördert Wiederverwendbarkeit und Komponierbarkeit. Allerdings muss ein hoher Analyseaufwand am Anfang in Kauf genommen werden.
- Bottom-Up-Strategie: Bei einem Bottom-Up-Vorgehen werden die Services aus der bestehenden Applikationslogik abgeleitet. Zu diesem Zweck werden die angebotenen Funktionen der Anwendungen in Services gekapselt. Allerdings treten dabei die Architekturziele der SOA in den Hintergrund. Daher ist diese Strategie nicht geeignet, um eine gute SOA zu erstellen.
- Agile Strategie: Die letzte Strategie stellt einen Mittelweg zwischen der Integration von Altanwendungen und der Umsetzung der SOA-Architekturziele dar. Dabei erfolgt zuerst eine Analyse des Geschäftsmodells. Anfangs werden die Teile bevorzugt, die direkt mit der Geschäftslogik verbunden sind. Während der Umsetzung dieser Teile wird mit der Analyse fortgefahren. Die schrittweise Analyse bei gleichzeitiger Implementierung kann aber eine Überarbeitung bestehender Services erforderlich machen.

Mit der Wahl der Strategie wird auch die Struktur der Schichten (vgl. Kapitel 2.2.4.) festgelegt. In dieser Diplomarbeit geht es um den technologieunabhängigen Serviceentwurf. Da keine Legacysysteme berücksichtigt werden, wird eine reine Top-Down Strategie umgesetzt. Für den rein fachlichen Entwurf ist nur die serviceorientierte Analyse nötig, die im Anschluss ausführlich beschrieben wird. ([5] S. 357 - 611)

3.2.2. Die serviceorientierte Analyse

Der für diese Arbeit relevante Teil der Gesamtmethode ist die serviceorientierte Analyse. Dabei werden die Geschäftsanforderungen in der SOA abgebildet. Es sollen mögliche Services und ihre gekapselte Logik identifiziert werden.

Bevor die Analysephase beginnt müssen einige Voraussetzungen geschaffen werden. Dazu gehören die Wahl der Strategie sowie die Definition von Geschäftsmodell und Ontologie. Darüberhinaus ist der Bereich der Software auszuwählen, der in eine SOA überführt werden soll. Die Analyse kann in die folgenden drei Abschnitte unterteilt werden([5] S. 357 - 611):

1. Geschäftsanforderungen definieren: In diesem Schritt werden alle Geschäftsanforderungen des Unternehmens aufgenommen. Die modellierten Geschäftsprozesse sollten sich dabei so weit wie möglich automatisieren lassen. Abschließend werden die für das Einsatzgebiet der SOA relevanten Teile indentifiziert.
2. Existierende automatisierte Systeme identifizieren: Dabei werden die Anwendungen betrachtet, die relevante Funktionen für die Ausführung der Geschäftsprozesse bereitstellen. Nur durch diese Untersuchung kann eine nach den SOA-Architekturzielen optimale Mischung aus Neuentwicklung und Weiterverwendung gefunden werden.
3. Servicekandidaten modellieren: Im letzten Schritt werden die identifizierten Operationen zu Servicekandidaten zusammengefasst. Dieser Abschnitt gliedert sich in zwölf Teilprozesse, auf die später detailliert eingegangen wird.

Eine wichtige Aufgabe bei der Analyse ist die Erstellung von Geschäftsservicekandidaten. Durch die Zerlegung der Geschäftsprozesse werden Funktionen identifiziert, die im weiteren Verlauf zu den Kandidaten zusammengefasst werden. Anhand des Gruppierungskontextes werden zwei zentrale Servicearten unterschieden. Dazu zählen aufgabenzentrierte Geschäfts-services, die um eine bestimmte Tätigkeit oder Aufgabe herum gruppiert werden. Dieser Kontext wird durch den Ablauf der betrachteten Geschäftsprozesse vorgegeben. Dadurch entsteht eine Abhängigkeit der Services zum Ablauf. Problematisch ist, dass sich durch eine Prozessmodifikation der Gruppierungskontext ändern könnte. Durch eine veraltete Aufteilung wird eine Neuordnung der Services erschwert. Eine wesentlich höhere Stabilität weisen dagegen objektzentrierte Geschäftsservices auf. Dabei werden die Funktionen um Geschäftsobjekte des Informationsmodells angeordnet. Dieses Modell ist im Gegensatz zu den Geschäftsprozessen wesentlich robuster. Weiterhin sind die Servicekandidaten weniger vom Prozessablauf abhängig, wodurch die Wiederverwendbarkeit verbessert wird. Allerdings steigt durch die Erstellung des Informationsmodells der anfängliche Analyseaufwand.

Nachfolgend soll der letzte Schritt der Analysephase, die Modellierung der Servicekandidaten, im Detail betrachtet werden. Dabei werden zu Beginn die Ergebnisse der ersten beiden Schritte ausgewertet. Der Modellierungsprozesse kann abhängig von den örtlichen Voraussetzungen stark variieren. Mit der Erstellung der Servicekandidaten ist das Ziel jedoch stets gleich. Es handelt sich um Kandidaten, weil in der Analysephase nur die fachlichen Anforderungen betrachtet werden. Aufgrund von technischen Bedingungen, die während der Designphase hinzukommen, kann es zu weiteren Änderungen kommen.

1. Geschäftsprozesse zerlegen: Die Geschäftsprozesse dienen als Grundlage für die SOA und werden anfangs in möglichst kleine Prozessschritte geteilt. Diese Schritte werden als Programmablaufplan (PAP) modelliert.

2. Operationskandidaten der Geschäftsservices identifizieren: Nun gilt es die Prozessschritte auszuwählen, die für den SOA-Entwurf relevant sind. Dabei werden manuelle Schritte nicht berücksichtigt. Weiterhin werden Funktionen bestehender Anwendungen aussortiert, die nicht in Services gekapselt werden sollen.
3. Workflow-Logik herauslösen: In diesem Schritt wird die Logik innerhalb der Geschäftsprozesse entfernt. Dazu zählen Bedingungen, Verzweigungen oder Geschäftsregeln. Diese Logik wird später in der Orchestrierungsserviceschicht umgesetzt.
4. Geschäftsservicekandidaten erstellen: Die relevanten Prozessschritte bilden die Vorlage für die Serviceoperationen. Die Art der Geschäftsservices (aufgaben- oder objektzentriert) bestimmt den Kontext, mit denen die Funktionen gruppiert werden. Dabei spielt es keine Rolle, wie viele Operationen einem Servicekandidaten zugeordnet werden.
5. Anwenden der SOA-Prinzipien: In diesem Schritt werden wichtige SOA-Architekturziele auf die fachlich entworfenen Servicekandidaten angewendet. Ein wesentliches Prinzip ist in diesem Zusammenhang die Wiederverwendbarkeit. Dabei wird beispielsweise untersucht, ob einzelne Funktionen der Servicekandidaten in anderen Geschäftsprozessen verwendet werden. Außerdem wird überprüft, ob ähnliche Funktionen durch Generalisierung zusammengeführt werden können. Zusätzlich werden Abhängigkeiten der Operationen zum Ablauf oder der Position im Geschäftsprozess aufgelöst. Dadurch wird neben der Wiederverwendbarkeit auch die lose Kopplung gefördert. Weiterhin wird die Logik der Servicekandidaten hinsichtlich ihrer Konsistenz und Autonomie überprüft. Dabei ist auf eine disjunkte Funktionalität zu achten.
6. Kombinationsmöglichkeiten identifizieren: Nachdem die Servicekandidaten im letzten Schritt verfeinert wurden, sollen nun alternative Abläufe innerhalb der Geschäftsprozesse modelliert werden. Anschließend wird überprüft, ob sich die identifizierten Abläufe mit den bestehenden Kandidaten nachbauen lassen. Auf diese Weise werden die Angemessenheit der Gruppierung und die Vollständigkeit der Logik untersucht. Weiterhin werden die Kombinationsmöglichkeiten für die Umsetzung der Orchestrierungsserviceschicht dokumentiert.
7. Gruppierung ändern: Aufgrund der Erkenntnisse aus Schritt sechs wird die Gruppierung der Servicekandidaten überarbeitet.

Der vollständige Ablauf der Servicemodellierung ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Schritte acht bis zwölf beschäftigen sich mit dem Entwurf der Applikationsserviceschicht. Sie werden im Folgenden nur oberflächlich beschrieben, da in dieser Diplomarbeit keine Legacysysteme berücksichtigt werden. Zunächst wird dabei untersucht, durch welche Funktionen der bestehenden Systeme die Operationen der Geschäftsservicekandidaten realisiert werden. Diese Funktionen werden anschließend um einen technischen Kontext zu Applikationsservicekandidaten gruppiert. Beispielsweise können alle Funktionen einer Anwendung zusammengefasst werden. Größere Anwendungen bilden dabei die Grundlage für mehrere Kandidaten.

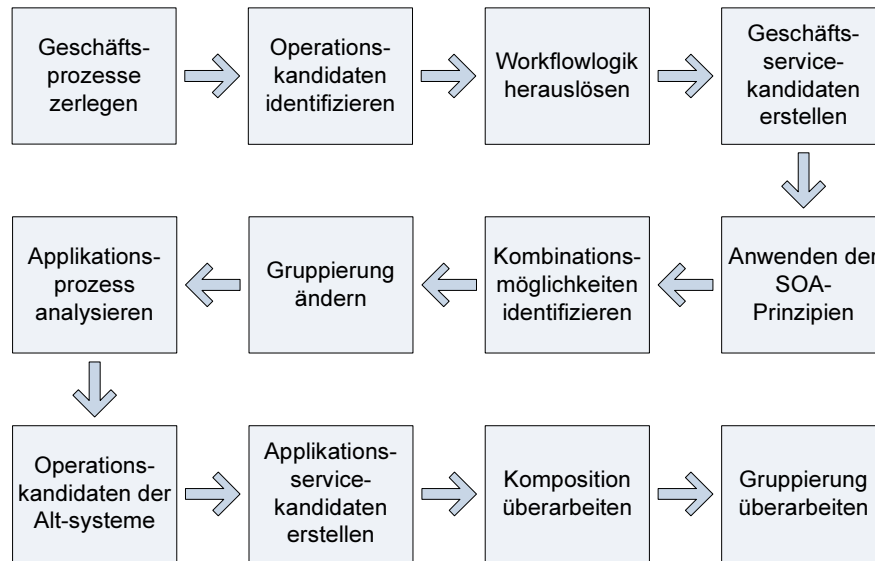


Abbildung 3.2.: Die Schritte der serviceorientierte Analyse nach Erl[5]

Mit dem Entwurf der Applikationsservices wird die Servicemodellierung abschlossen. Bei der Bearbeitung der einzelnen Schritte ist auf eine gute Dokumentation zu achten. Dadurch werden die Entwurfsentscheidungen nachvollziehbar. Außerdem kann durch genaue Beschreibung der Servicekandidaten eine redundante Funktionalität verhindert werden. Eine gute Dokumentation fördert zudem die Wiederverwendbarkeit und erleichtert die Designphase.

Zum Abschluss wird eine Auswahl von Richtlinien vorgestellt, die den Modellierungsprozess unterstützen:

- Weitere Teilung der Servicekandidaten: Jeder Kandidat sollte auf eine mögliche Teilung hin untersucht werden. Dabei wird überprüft, ob mehrere kleine Services eine Verbesserung bewirken.
- Untergraben der Logikgrenzen verhindern: Gerade in großen SOA-Projekten muss explizit auf eine disjunkte Funktionalität geachtet werden. Wenn die Geschäftsprozesse zu verschiedenen Zeiten modelliert werden, besteht das Risiko, vorhandene Funktionen erneut zu erstellen. Um dies zu verhindern, ist vor dem Neuentwurf eine Untersuchung der bestehenden Services durchzuführen. Zudem hilft die Etablierung von einheitlichen Modellierungsstandards.
- Auf ein ausgeglichenes Modell achten: Ein Service ist immer ein Kompromiss. Aus diesem Grund gibt es keine perfekten Services. Zusätzlich ist festzustellen, dass jeder gute Service durch Änderungen an Qualität verliert. Wie in jedem Softwareprojekt sind auch bei einer SOA Änderungen keine Ausnahme. Aus diesem Grund kostet Perfektionismus beim Serviceentwurf unnötig Ressourcen. Eine SOA sollte gut geschnitten sein und auf ein Servicemodell aufbauen, das Geschäftsanforderungen, Standards und Industriekonventionen im Gleichgewicht hält. Gute Services sind an den kurz- und langfristigen Zielen des Unternehmens ausgerichtet.

- Geschäftsmodellierungsstandards erstellen und umsetzen: Die vorgeschlagene Entwurfsmethode stellt nur die Basis dar. Der unternehmensspezifische Modellierungsprozess hängt auch von den eingesetzten Tools und den vorhandenen Methoden ab. Es sollte aber ein einheitlicher Standard definiert und umgesetzt werden.

3.2.3. Bewertung

Der von Erl [5] vorgeschlagene Entwicklungsprozess beschreibt sehr detailliert die Phasen bei der Erstellung serviceorientierter Softwaresysteme. In dieser Diplomarbeit erfolgt ausschließlich der fachliche SOA-Entwurf. Aus diesem Grund wurde lediglich die serviceorientierte Analyse im Detail vorgestellt.

Viele der geforderten Architekturprinzipien werden durch die serviceorientierte Analyse gefördert. Dabei ist besonders die fachliche Orientierung hervorzuheben. Durch Zerlegung der Geschäftsprozesse sowie durch die Betrachtung alternativer Abläufe und potentieller Servicenutzer basieren die Servicekandidaten in hohem Maße auf den fachlichen Gegebenheiten. Weiterhin ist die Verbesserung der Wiederverwendbarkeit explizit in den Entwurfsprozess integriert. Eine ausgewogene Granularität soll durch die Zerlegung der Geschäftsprozesse in möglichst kleine Schritte erreicht werden. Zudem werden Modellierungsstandards vorgeschlagen, die bei der Zerlegung unterschiedlicher Prozesse ähnlich große Funktionen identifizieren. Die Kopplung der Services wird durch die Verringerung der Abhängigkeiten vom Prozessablauf verbessert. Die Architekturziele Abstraktion und Zustandslosigkeit werden maßgeblich in der Designphase beeinflusst. Während der Analyse können lediglich verschiedene Abstraktionsebenen bei der Zerlegung der Geschäftsprozesse identifiziert werden.

Trotz der Tatsache, dass nur ein Teil der geforderten Prinzipien unterstützt wird, stellt die serviceorientierte Analyse in ihrem beschriebenen Detaillierungsgrad die Grundlage für den späteren Entwurfsprozess dar. Das ist auch darauf zurückzuführen, dass sich die Definitionen des SOA-Begriffes von Erl [5] und aus dieser Diplomarbeit in hohem Maße überschneiden.

3.3. IBM-Methode: Steps of the SOA approach

3.3.1. SOA-Definition der IBM-Methode

Endrei, Ang und Arsanjani[4] verstehen SOA als neue Methode zur Softwareerstellung sowie als Weiterentwicklung der komponentenbasierten und der objektorientierten Ansätze. SOA beschreibt demnach eine Komponentenarchitektur, die aus Services besteht. Diese Services stellen ihre Funktionalität über standardisierte Schnittstellen der Außenwelt zur Verfügung. Weiterhin werden sie durch funktionale und nichtfunktionale Eigenschaften charakterisiert. Auf technischer Ebene wird die SOA durch Schlüsseltechnologien wie Webservices, CORBA und J2EE realisiert. Trotz der technikaffinen Beschreibung erfolgt die Serviceidentifikation fachlich orientiert auf Basis der Geschäftsprozesse. ([4] S. 83-104)

3.3.2. Schritte der serviceorientierten Softwareentwicklung

Die IBM-Methode beschreibt die folgenden sieben Schritte für den Entwurf einer SOA: ([4] S. 83-104)

1. Dekomposition der Domäne: Ein Unternehmen lässt sich fachlich in disjunkte, vertikale Domänen aufteilen. Die Wertschöpfungskette, die horizontal durch das Unternehmen verläuft, wird durch diese Domänen in Bereiche zerlegt. Die SOA-Einführung erfolgt innerhalb der Domänengrenzen auf Grundlage dieser Bereiche. Zu diesem Zweck werden die Bereiche hierarchisch weiter in Geschäftsprozesse, Subprozesse und Geschäftsanwendungsfälle zerlegt. Diese fachliche Architektur wird auf die technischen Systeme und Subsysteme abgebildet. Dadurch lassen sich fachliche Funktionen und technische Realisierung einander zuordnen. Die Services werden letztlich aus den Geschäftsanwendungsfällen abgeleitet.
2. Ziel-Service-Modell erstellen: In diesem Schritt wird die Funktionalität der SOA durch Betrachtung der Geschäftsziele auf Vollständigkeit überprüft. Zu diesem Zweck werden die fachlichen Wissensträger in den Prozess eingebunden. Mit ihnen sollen die unternehmensweiten Geschäftsziele, die in der Regel unspezifisch formuliert sind, für die jeweilige Domäne herunter gebrochen und konkretisiert werden. Es soll ein hierarchisches Modell aus Subzielen entstehen, das konkrete Aussagen zu den Abläufen in der Domäne trifft. Die identifizierten Servicekandidaten müssen diesen Subzielen genügen. Dabei festgestellte Abweichungen deuten auf notwendige Nacharbeiten hin. Insgesamt wird durch diesen Schritt sichergestellt, dass durch die SOA die Unternehmensziele verfolgt werden.
3. Subsystem-Analyse: Als nächstes werden die Subsysteme mit ihren Bestandteilen entworfen. Wichtige Komponenten sind in diesem Zusammenhang die Geschäftsobjekte. Zunächst werden die Geschäftsprozesse bestimmt, die mit dem Subsystem verbunden sind. Aus den Geschäftsanwendungsfällen dieser Prozesse werden Objektkandidaten abgeleitet. Anschließend wird die Funktionalität dieser Objekte definiert. Die Funktionen aller Geschäftsobjekte eines Subsystems bilden die Schnittstelle zu anderen Subsystemen. Weitere wichtige Bestandteile sind die technischen Komponenten wie Nachrichtenübermittlung und Sicherheit. Welche davon in den jeweiligen Subsystemen benötigt werden, lässt sich aus den nichtfunktionalen Anforderungen ableiten. Durch die Subsysteme werden die fachlichen Geschäftsanwendungsfälle auf die technischen Systemanwendungsfälle abgebildet. Dadurch wird definiert, wie die Geschäftsprozesse technisch realisiert werden.
4. Serviceallokation: Während der Serviceallokation werden die identifizierten Services überprüft. Dabei wird die Erfüllung der Geschäftsziele, die Lokalisierung auf einem Subsystem und die Zuordnung zu einer bestimmten Komponente untersucht. Ein weiteres Ziel ist die Identifikation redundanter Services.

5. Spezifikation der Komponenten: In diesem Schritt werden die Komponenten beschrieben, indem die erforderlichen Regeln, Services, Attribute und Abhängigkeiten definiert werden.
6. Strukturierung der Services und der Komponenten durch Pattern: Mit der Auswahl des geeigneten Entwurfsmusters wird die Struktur der Serviceschicht definiert.
7. Planung der technischen Realisierung: Nach der SOA-Spezifikation folgt ihre Realisierung. Dieser komplexe Vorgang erfordert eine detaillierte Planung, bei der grundlegende technische und betriebswirtschaftliche Entscheidungen getroffen werden. Beispielsweise ist die Frage zu beantworten, ob eine spezifizierte Komponente selbst entwickelt oder zugekauft wird.

3.3.3. Bewertung

Die IBM-Methode beruht auf einer SOA-Definition, die eng mit konkreten Schlüsseltechnologien verbunden ist. Dies steht im Widerspruch zum SOA-Begriff, wie er in dieser Arbeit verwendet wird. Diese Tatsache sollte bei der Betrachtung der Methode berücksichtigt werden.

Ziel der Methode ist die Definition aller notwendigen Schritte zur Erstellung einer SOA. Dabei wird auf das Geschäftsdomänen- und das Geschäftsprozessmodell des Unternehmens aufgebaut. Insgesamt handelt es sich um ein Verfahren, das versucht die Ansätze aus Bottom-Up- und Top-Down-Strategien zu verbinden. Für diese Diplomarbeit ist besonders der fachliche Entwurf der Servicekandidaten von Interesse. Durch die hierarchische Zerlegung der Geschäftsprozesse werden beispielsweise die ausgewogene Granularität und die Abstraktion gefördert. Weiterhin lassen sich innerhalb der Domänengrenzen leicht ähnliche Funktionen identifizieren, die zusammengefasst werden können und so die Wiederverwendbarkeit verbessern. Ein interessanter Ansatz zur Kontrolle der Vollständigkeit ist zudem die Subzielanalyse. Die restlichen Bestandteile der Methode beschäftigen sich mit den Legacysystemen und der technischen Abbildung der Services. Sie sind für den Serviceentwurf in dieser Diplomarbeit nicht von Interesse.

3.4. Wertschöpfungsorientierter Serviceentwurf

3.4.1. Häufige Probleme, die bei der Einführung einer SOA auftreten

Die von Roth [44] beschriebene Entwurfsmethode fordert einen klaren wirtschaftlichen Bezug der Services. Sie sollen sich am Geschäftsnutzen orientieren und betriebswirtschaftlich bewerten lassen. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Probleme heutiger SOA-Projekte ausgemacht, von denen einige im Folgenden kurz erläutert werden ([44]):

- In der Regel sind bestehende Softwarelandschaften vertikal gewachsen. Es wird in diesem Zusammenhang auch von Silobildung gesprochen. Viele der Probleme, die durch einen

SOA-Einsatz gelöst werden sollen, basieren auf dieser Struktur. Wird die SOA jedoch lediglich zur Integration der bestehenden Systeme konzipiert, bleiben diese Strukturen erhalten.

- Es wird zu viel Wert auf die Wiederverwendbarkeit gelegt. Dadurch entstehen generalisierte Services, deren Aufruf die Beachtung eines umfangreichen Regelwerks erfordert. Solche Services sind schwer zu warten.
- Das Schnittstellendesign sollte fachlich motiviert erstellt werden und sich nicht an einer Datenbankstruktur orientieren.
- Die SOA-Einführung erfolgt häufig auf Drängen der IT-Abteilung. Durch die einseitige Sichtweise erfolgt ein technologiegetriebenes Vorgehen, das der fachlichen Orientierung zu wenig Bedeutung beimisst. Dabei wird nicht betrachtet, ob die Services einen Beitrag zur Wertschöpfung leisten.
- Eine SOA ist die Basis für unternehmensweite Softwarelandschaften, in denen unabhängige und gleichberechtigte Services existieren. Diese Sichtweise widerspricht zum Teil der Abteilungsstruktur in Unternehmen. Das führt genau dann zu Problemen, wenn mehrere Abteilungen die gleiche Funktionalität benötigen und jede Abteilung die Hoheit über das zugrundeliegende Softwaresystem für sich beansprucht.

3.4.2. Fachlich orientierter Serviceentwurf

Zunächst sollen die Leitgedanken der von Roth [44] vorgestellten Methode erläutert werden. Ein guter Service sollte stets ein Kompromiss zwischen den Dimensionen Organisation, Technik und Geschäft darstellen. In diesem Zusammenhang ist unter Organisation die vertikale Abteilungsstruktur des Unternehmens zu verstehen. Eine SOA wird zwar aus der Wertschöpfungskette abgeleitet, allerdings ist für ein erfolgreiches Projekt ebenfalls die Berücksichtigung der vorhandenen Unternehmensstruktur wichtig. Die Dimensionen Geschäft und Technik beschreiben darüberhinaus die fachliche Funktionalität und ihre technische Realisierung. In einem weiteren Aspekt der Entwurfsmethode wird die Prozessunabhängigkeit der Services gefordert. Zu diesem Zweck soll jeweils untersucht werden, mit welchem Aufwand der Service innerhalb des Prozesses verschoben oder ersetzt beziehungsweise ausgelagert werden kann. Außerdem fordert das Verfahren eine weitgehende Automatisierung der Geschäftsprozesse. Dabei steht in SOA-konformen Anwendungen nicht mehr der Nutzer im Mittelpunkt. Er ist lediglich Teil des Prozesses.

Nachfolgend soll die eigentliche Methode vorgestellt werden, die sich im Kern mit der Identifikation von Prozessservices beschäftigt. Dabei wird von einer historisch gewachsenen IT-Landschaft ohne SOA-konformes Geschäftsmodell ausgegangen. Für den Serviceentwurf dienen das Geschäftsprozessmodell und das Geschäftsdomänenmodell als Grundlage. Durch die Domänen werden die Aufgaben des Unternehmens thematisch strukturiert. Diese Aufteilung ist in der Organisationsstruktur des Unternehmens abgebildet. Die Geschäftsprozesse können

in Arbeitsschritte zerlegt werden, von denen jeder einer Domäne zugeordnet wird. Dadurch wird jede Geschäftsfunktion fachlich und organisatorisch kategorisiert. Aus den verschiedenen Arbeitsschritten einer Domäne werden nun potentielle Prozessservices abgeleitet. Dabei repräsentiert jeder Prozessservice eine zusammenhängende Tätigkeit, die einen ausreichenden Beitrag zur Wertschöpfung leistet. Auf diese Weise sollen zu kleine Services verhindert werden.

Die identifizierten Prozessservices werden im nächsten Schritt auf Abhängigkeiten zum Prozessablauf und zur Organisationsstruktur untersucht. Im Bezug auf die Organisationsstruktur lassen sich Verbindungen zu Ressourcen und Akteuren identifizieren. Eine starke Kopplung kann durch eine Veränderung des Prozessablaufes gelockert werden. Weiterhin wird die Autonomie durch fiktives Service-Outsourcing überprüft und eine mögliche Wiederverwendung in anderen Geschäftsprozessen betrachtet. Der fachliche Serviceentwurf wird mit der Definition von geschäftlichen und organisatorischen Schnittstellen abgeschlossen. Weiterhin werden Aufgaben und Verantwortlichkeiten sowie die Reihenfolge der Prozessschritte definiert.

Im Anschluss daran erfolgt die Integration durch bestehende Anwendungen. Dabei wird untersucht, ob weitere Möglichkeiten zur Automatisierung der Geschäftsprozesse existieren. Es ist wichtig, dass die Weiterverwendung bestehender Legacysysteme die fachliche und organisatorische Modellierung nicht untergraben. Die durch diese Zuordnung entstandenen Services werden Softwareservices genannt. ([44])

3.4.3. Bewertung

Der wertschöpfende Serviceentwurf beschreibt Probleme, die bei der Einführung einer SOA häufig auftreten. Der erläuterte Entwurfsprozess versucht, diesen Problemen entgegenzuwirken. Ein wichtiger Ansatz in diesem Zusammenhang ist die explizite Berücksichtigung der Organisationsstruktur des Unternehmens. Indem die Geschäftsprozesse durch die Domänen geteilt werden, lassen sich innerhalb der Grenzen Services identifizieren. Das ist für reale Projekte sehr hilfreich, in dieser Diplomarbeit berücksichtigt der SOA-Entwurf aber kein Unternehmen.

Die fachlich orientierte Methode bietet dennoch interessante Aspekte für die Umsetzung eines MES. Beispielsweise wird die ausgewogene Granularität unterstützt, indem die Services an ihrem Beitrag zur Wertschöpfung gemessen werden. Das fiktive Outsourcing und die Untersuchung der Abhängigkeiten fördert die lose Kopplung. Darüberhinaus werden innerhalb der Domänengrenzen die verschiedenen Teile der Geschäftsprozesse auf Wiederverwendbarkeit untersucht. Durch diese Einschränkung ist die Identifikation ähnlicher Services leichter. Allerdings werden auch potentiell wiederverwendbare Dienste übersehen, die verschiedenen Teilen der Unternehmensstruktur zugewiesen sind. Abschließend lässt sich feststellen, dass viele der geforderten Prinzipien unterstützt werden, und die Methode interessante Ansätze für den SOA-Entwurf beisteuert. Lediglich die Architekturziele Zustandslosigkeit und Abstraktion werden nicht betrachtet.

3.5. Der Weg zum guten Service

3.5.1. Flexibilität innerhalb der SOA

Nach Müller [34] sollen servicorientierte Architekturen eine Brücke zwischen der Geschäftswelt und ihrer IT schlagen. Ziel ist eine flexible Umsetzung der Geschäftsprozesse, so dass Änderungen schnell berücksichtigt werden können. Die Flexibilität setzt in Verbindung mit einer SOA voraus, dass sich die meisten Änderungen auf die Serviceanordnung und nicht auf die Services auswirken. Demnach soll eine SOA-Flexibilität auf Ebene der Geschäftsprozesse und Stabilität auf Ebene der Services bieten. Wichtige Architekturziele in diesem Zusammenhang sind lose Kopplung, Abstraktion und Autonomie. Außerdem soll durch die Betrachtung existierender und potentieller Nutzer die Wiederverwendbarkeit gefördert werden.

Bei der Betrachtung einer SOA unterscheidet Müller [34] vier verschiedene Sichten auf die Struktur. Einerseits werden die fachlichen Eigenschaften in der Informations- und der Geschäftsarchitektur beschrieben. Auf der anderen Seite enthalten die Applikations- und die Infrastrukturarchitektur die technischen Eigenschaften. ([34])

3.5.2. Ansätze zum Serviceentwurf im Überblick

Die Entwurfsmethode, die von Müller [34] beschrieben wird, befasst sich mit der Serviceidentifikation in größeren IT-Landschaften. Wichtige Aspekte sind in diesem Fall eine global einheitliche Entwurfsstrategie und eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten. Ein gutes Vorgehen besteht hierbei aus Top-Down- und Bottom-Up-Elementen. Da in dieser Diplomarbeit kein Legacysystem verwendet wird, steht der fachliche Entwurf bei der Erläuterung im Mittelpunkt.

Die fachlichen Anforderungen werden durch die Entwurfsmethode einerseits auf den Funktionen der Services abgebildet. Andererseits sind diese in den Informationsflüssen zwischen den Services enthalten, aus denen später die Schnittstellen abgeleitet werden. Dabei stehen geschäftliche Aspekte im Vordergrund, die technische Realisierung wird erst in späteren Entwurfsphasen betrachtet. Der beschriebene fachliche Entwurf setzt sich aus folgenden Schritten zusammen:

- Anwendungsfälle beschreiben
- Geschäftsobjekte identifizieren und modellieren
- Geschäftsprozesse modellieren
- Informationsfluss analysieren und modellieren
- Services identifizieren und beschreiben

Im Folgenden werden fünf mögliche Ansätze zur Serviceidentifikation vorgestellt:

1. Opportunistische Methode: Dieser Ansatz beschreibt eher einen Lernprozess als ein konkretes Entwurfsverfahren. Er wird angewendet, wenn noch keine globale Strategie definiert wurde. Aktuell anstehenden Projekte werden einfach serviceorientiert umgesetzt. Dabei geht es weniger um die Erstellung guter, unternehmensweit nutzbarer Services als vielmehr um das Sammeln von ersten Erfahrungen mit den fachlichen und technischen Eigenschaften einer SOA.
2. Informationsobjektanalyse: Die Informationsobjektanalyse benutzt für die Serviceidentifikation das Geschäftsinformationsmodell, das aus disjunkten Geschäftsobjekten und ihren Beziehungen besteht. Die Objekte werden in Services gekapselt und ihre Methoden als Serviceoperationen zur Verfügung gestellt. Durch die disjunkten Objekte wird besonders das Architekturziel Autonomie unterstützt. Weiterhin weisen die entstehenden Services eine hohe Stabilität auf, da sie nicht von bestimmten Geschäftsprozessen abhängig sind. Allerdings ist die SOA, die aus einem Geschäftsinformationsmodell abgeleitet wird, nur so gut wie das Modell. Darüber hinaus weisen derartige Services häufig eine sehr feine Granularität auf.
3. Geschäftsprozessanalyse: Dieses Verfahren identifiziert die Services aus dem Geschäftsprozessmodell. Die Prozesse werden in Funktionsblöcke zerlegt, die wiederum in Prozessschritte geteilt werden. Dabei ist auf eine geeignete und einheitliche Granularität und auf eine funktionale Abgeschlossenheit zu achten. Nach der Zerlegung werden die manuellen Schritte aussortiert. Die übrigen, automatisierbaren Prozessschritte werden nun zu Services zusammengefasst. Um die Wiederverwendbarkeit zu verbessern, sollten auch potentielle Nutzer in anderen Kontexten berücksichtigt werden. Die Geschäftsprozessanalyse birgt einige Risiken. Nur durch ein unternehmensweit einheitliches, aktuelles und vollständiges Modell entsteht eine gute SOA. Das gilt in besonderem Maße für die Definitionen der Fachbegriffe und der Granularität der Prozessschritte. Die folgenden Ansätze versuchen genau diesen Problemen zu begegnen.
4. Domänenanalyse: Die Domänenanalyse versucht, das Unternehmen in einzelne abgeschlossene Bereiche mit zusammenhängender Funktionalität hierarchisch zu zerlegen. Dabei wird der serviceorientierte Ansatz der Kombinierbarkeit auf das ganze Unternehmen angewendet. So wird die Firma von außen als ein Service betrachtet, der eine bestimmte fachliche Funktionalität anbietet. Diese Funktionen werden intern durch das Zusammenspiel weiterer disjunkter Services realisiert. Beispiele dafür sind die Abteilungen des Unternehmens. Durch die Zerlegung der verschiedenen Hierarchieebenen entstehen schließlich die SOA-Services. Diese Services werden durch die Anwendungsfälle beschrieben und später zu den Geschäftsprozessen zusammengeschlossen werden. Außerdem sind sie der Ausgangspunkt für die technische Realisierung. Während der Zerlegung ist darauf zu achten, dass weder prozessspezifisches Wissen noch technische Randbedingungen in die Analyse einfließen. Die Methode erfordert eine aktive Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure des Unternehmens. Problematisch ist weiterhin der

verhältnismäßig hohe Aufwand.

5. Geschäftszielanalyse: Eine weitere Alternative zur Zerlegung der Geschäftsprozesse bietet die Geschäftszielanalyse. Dabei werden die Unternehmensziele identifiziert und hierarchisch zerlegt. Ähnlich der Domänenanalyse werden unternehmensweite Ziele bis auf eine angemessene Granularität aufgeteilt. Auf Grundlage der untersten Hierarchieebene werden die Services modelliert. Neben dem Einsatz als Serviceentwurfsmethode kann das Verfahren auch zur Beurteilung erstellter Servicearchitekturen verwendet werden. Dabei wird untersucht, ob die Services jeweils den Subzielen zugeordnet werden können.

In der Praxis hängt die Wahl der Methoden stark von den Voraussetzungen im Unternehmen ab. Es ist ebenfalls möglich, verschiedene Ansätze zu kombinieren. Weiterhin sollte eine Analyse der vorhandenen Legacy-Systeme Einfluss auf die Servicerealisierung nehmen. ([34])

3.5.3. Bewertung

Der Artikel geht besonders auf den in dieser Diplomarbeit interessanten fachlichen Serviceentwurf ein. In diesem Zusammenhang werden fünf Ansätze vorgestellt und kurz erläutert. Mit diesem Wissen kann aus den jeweiligen Gegebenheiten die passende Entwurfsmethode abgeleitet werden. Die knappe Erläuterung der einzelnen Ansätze schließt allerdings keine konkreten Arbeitsschritte ein.

Für die Umsetzung eines MES sind besonders die Geschäftsprozessanalyse und die Informationsobjektanalyse von Interesse. Die zugrundeliegenden Modelle beider Verfahren können aus der allgemeinen Beschreibung eines MES abgeleitet werden. Die Ansätze fördern die fachliche Orientierung, die Abstraktion, die Wiederverwendbarkeit und die ausgewogene Granularität.

Die hierarchische Aufteilung der Domänenanalyse bietet interessante Ansätze. Allerdings wird die Analyse auf Ebene des gesamten Unternehmens ausgeführt. Für die vorliegende Arbeit kann das Verfahren nicht vollständig angewandt werden, denn ein MES bildet nur einen Teil des Unternehmens ab. Weiterhin kann nicht belegt werden, dass das MES einen Funktionsbereich im Sinne der Domänenanalyse repräsentiert.

Der Einsatz der übrigen Methoden ist nicht sinnvoll. Für die Geschäftszielanalyse fehlt dieser Arbeit die generelle Grundlage und bei der opportunistischen Methode handelt es sich nicht um ein strukturiertes Vorgehen.

3.6. Granularität von Services - Kriterien zur Strukturierung einer Servicelandschaften

3.6.1. Granularitätsproblem beim Serviceentwurf

Nach Henning [10] gibt es einige Probleme, die in Verbindung mit dem Thema SOA stehen. Es existiert bis dato keine allgemeingültige Definition des Begriffes. Weiterhin wird bei der Beschreibung häufig primär die technische Sicht dargestellt. Darüber hinaus wird bei SOA-Projekten meist kein Wert auf eine einheitliche Einführungsstrategie gelegt.

Nach diesen allgemeinen Schwierigkeiten soll das Granularitätsproblem beschrieben werden. Ein Service besteht nach Henning [10] aus einer fachlichen und einer technischen Sicht. Der Servicevertrag, die Schnittstelle und die Implementierung beschreiben dabei die technischen Details, während die fachliche Sicht aus den geschäftlichen Funktionen besteht. Aus dieser einfachen Definition kann aber keine Aussage über die richtige Granularität abgeleitet werden. Beispielsweise umfasst jede Schnittstelle eine Menge von Operationen, die jede für sich eine fachliche Funktion erfüllt. Nach der obigen Definition könnte folglich jede dieser Operationen in einem eigenen Service gekapselt werden. ([10])

3.6.2. Kategorisierung der Services einer SOA

Aus dem Architekturziel fachliche Orientierung folgt, dass die Services einer SOA aus den Geschäftsprozessen abgeleitet werden sollen. Bevor die Entwurfsmethode beschrieben wird, sollen wichtige Begriffe in diesem Zusammenhang erläutert werden. Ein Geschäftsprozess als Ganzes reagiert auf Ereignisse und liefert Ergebnisse. Im Detail wird er beispielsweise durch eine ereignisgesteuerte Prozesskette oder ein Aktivitätsdiagramm modelliert. Dabei werden einzelne Prozessschritte durch Basislogik verbunden. Diese Prozessschritte bestehen wiederum aus einer Menge von Geschäftsfunktionen. Im Unterschied zu den Prozessschritten ist eine Geschäftsfunktion nicht an den Ablauf eines Geschäftsprozesses gebunden und damit kontextfrei. Als kleinster fachlicher Schritt eines Geschäftsprozesses bilden die Geschäftsfunktionen die ideale Basis für Services einer geeigneten Granularität. Um die ausgewogene Granularität und die Wiederverwendbarkeit zu fördern, muss darüber hinaus auf eine einheitliche Größe aller Geschäftsfunktionen geachtet werden.

Ein Workflow ist die IT-gestützte Abbildung der Vorgänge innerhalb eines Geschäftsprozesses. Allerdings enthalten die Geschäftsprozesse selten ausschließlich automatisierbare Prozessschritte. Aus diesem Grund ist eine vollständige Abbildung des Prozesses in der SOA weder möglich noch sinnvoll.

Henning [10] schlägt beim Serviceentwurf eine Kategorisierung der Services vor. Bei großen Softwarelandschaften soll auf diese Weise die Wiederverwendbarkeit gefördert werden. Grundlage einer sinnvollen Einteilung ist das Informationsmodell, denn auf diese Weise können die Geschäftsprozesse besser beschrieben und die Services um die Objekte gruppiert werden. Dadurch entstehen beständigere Services, denn die Geschäftsobjekte weisen im Gegensatz zu den Geschäftsprozessen eine wesentlich höhere Stabilität. Nach diesen anfänglichen Ausführungen sollen die verschiedenen Servicekategorien und ihre Beziehungen erläutert werden. Die unterste fachliche Ebene bilden dabei die objektzentrierten Services, die direkt aus den Geschäftsobjekten beziehungsweise ihrer Logik abgeleitet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Funktionen eines Objektes nicht auf Daten eines anderen Objektes aufbauen. Dieses Zusammenspiel wird in prozesszentrierten Services realisiert. Beispielsweise werden auf diese Weise die Beziehungen zwischen den Geschäftsobjekten umgesetzt. Die prozesszentrierten Services bauen auf den Funktionen der Geschäftsobjekte auf, enthalten aber keine Ablauflogik der Workflows. Sie weisen auch eine geringere Wiederverwendbarkeit auf als die objektzen-

trierten Dienste. Bei Bedarf werden die fachlichen Services durch sogenannte Basis-Services unterstützt. In ihnen können technische Details gekapselt werden. Die manuellen Prozessschritte werden umgesetzt, indem die Nutzer die Funktionen der prozesszentrierten Schritte direkt ausführen. Dies geschieht auf der sogenannten Anwendungsebene. Unter diesen Voraussetzungen können die Geschäftsprozesse vollständig abgebildet werden. Zu diesem Zweck werden Anwendungen und prozesszentrierte Services durch eine Ablauflogik verbunden. Die vorgeschlagene Aufteilung ist in Abbildung 3.3 dargestellt.([10])

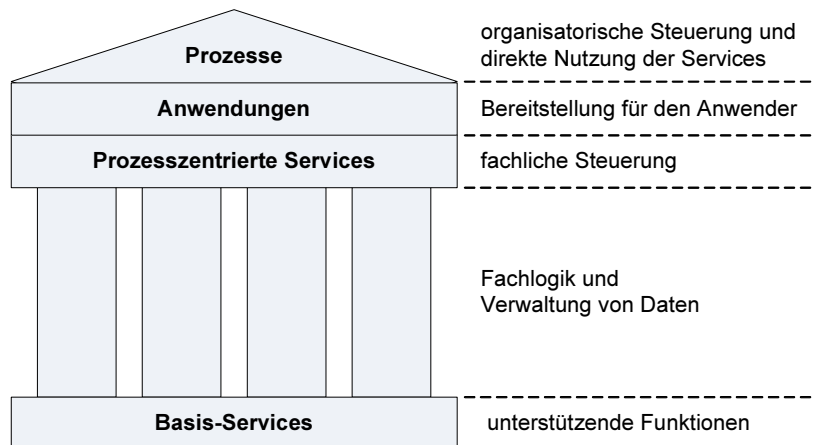


Abbildung 3.3.: Die Kategorisierung der Services einer SOA nach Henning[10]

3.6.3. Bewertung

Bei der von Henning [10] vorgestellten Entwurfsmethode steht die fachliche Orientierung im Vordergrund. Es wird auf den Geschäftsprozessen und dem Informationsmodell aufgebaut. Weiterhin wird eine ausgewogene Granularität gefördert, indem die Geschäftsprozesse in einheitlich große Geschäftsfunktionen zerlegt werden. Durch die Erweiterung der Serviceschicht aus Kapitel 2.2.4. um manuelle Schritte können die Geschäftsprozesse nun vollständig abgebildet werden. Auf diese Weise werden verschiedene Abstraktionsebenen geschaffen. Außerdem wird innerhalb der Stufen der Serviceschicht auf eine einheitliche Granularität geachtet. Die Wiederverwendbarkeit wird durch die ausgewogenen Granularität gefördert, denn Services ähnlicher Größe lassen sich leichter vergleichen. Weiterhin wird der Kreis der Services, die ähnliche Funktionen anbieten könnten, durch die Gruppierung um Informationsobjekte weiter verkleinert. Ebenfalls hilfreich in diesem Zusammenhang ist die beschriebene Unabhängigkeit vom Prozessablauf, die durch die Verwendung der Geschäftsobjekte unterstützt wird. Neben der Wiederverwendbarkeit wird dadurch auch die lose Kopplung unterstützt. Lediglich das Architekturziel Zustandslosigkeit wird durch die Methode nicht betrachtet.

Das Einbinden manueller Schritte ist für die Umsetzung eines MES besonders von Vorteil, denn ein großer Teil der Funktionalität wird unter der Mitwirkung des Personals erbracht. Als Beispiele sind an dieser Stelle die Datenerfassung und die Informationsaufbereitung für die Mitarbeiter zu nennen.

3.7. Geschäftsprozessmanagement

3.7.1. Begriffsbestimmung

Nach Josuttis [12] sollen in einer SOA die Services zu Geschäftsprozessen kombiniert werden. Dabei stellt sich die Frage, wie aus den Geschäftsprozessen die Services abgeleitet werden.

In diesem Zusammenhang sollen am Anfang wichtige Begriffe abgegrenzt werden. Zwei Begriffe, die häufig synonym verwendet werden, sind Geschäftsprozessmanagement und Geschäftsprozessmodellierung. Unter Modellierung ist die Identifikation und Beschreibung von Geschäftsprozessen zu verstehen. Dagegen wird unter Geschäftsprozessmanagement die IT-gestützte Verwaltung und Verbesserung von Geschäftsprozessen zusammengefasst. Nach dieser Definition ist Modellierung ein Teil des Managements.

Eine ähnliche Dualität existiert zwischen den Begriffen Geschäftsprozess und Workflow. Ein Geschäftsprozess beschreibt, was fachlich passiert und welche Vor- und Nachbedingungen es gibt. Der Workflow dagegen repräsentiert die IT-seitige Realisierung und damit die Art und Weise, wie die betrieblichen Abläufe abgebildet werden. ([12])

3.7.2. Methoden der Serviceidentifikation

Bei der Identifikation der SOA-Services werden neben den Geschäftsprozessen auch die Geschäftsanalyse und die Geschäftsstrategie verwendet. Auf diese Weise erfolgt die fachliche Top-Down-Analyse. Sollen zur Erfüllung dieser Funktionen Legacysysteme verwendet werden, muss ein guter Mittelweg zwischen der Top-Down- und der Bottom-Up-Strategie gefunden werden. Dabei gibt es keinen allgemein gültigen Ansatz. Vielmehr muss aus den örtlichen Gegebenheiten ein passendes Vorgehen abgeleitet werden.

Ein mögliches Verfahren ist die Prozessdekomposition. Dabei werden die Geschäftsprozesse in feingranulare Prozessschritte zerlegt. Anschließend werden sie in manuelle und automatische Schritte unterteilt. Weiterhin wird untersucht, welcher Schritt durch welches Legacysystem unterstützt wird. Das Ergebnis beschreibt grob, wie die Geschäftsprozesse umgesetzt werden.

Durch die Zerlegung der Prozesse entstehen unterschiedliche Hierarchieebenen. Dabei muss definiert werden, auf welcher Ebene die Serviceidentifikation erfolgt. Diese Entscheidung beeinflusst die Größe der entstehenden Services. Auch dabei existiert kein allgemein gültiger Weg. Es ist aber auf eine einheitliche und durchgehende Lösung zu achten.

Ab einer gewissen Hierarchieebene müssen die vorhandenen Legacysysteme berücksichtigt werden. Es stellt sich die Frage, ob sich die identifizierten Services durch die vorhandenen Anwendungen umsetzen lassen. Auch hier ist ein guter Kompromiss durch Diskussion der Alternativen zu suchen.

Ein weiteres Verfahren, das Josuttis [12] vorstellt, ist die sogenannte Domänendekomposition, die auch als Portfoliomanagement bezeichnet wird. Dabei erfolgt die Serviceidentifikation über eine Analyse der Geschäftsdomänen. Bei diesem Ansatz wird besonders auf Wiederverwendbarkeit geachtet. Ein Service soll dabei so konzipiert werden, dass er möglichst vielen Nutzern genügt. Ein Ansatzpunkt bei der Suche nach potentiellen Nutzern sind die

Überschneidungspunkte der Geschäftsanwendungsfälle. An diesen Stellen finden sich mehrfach verwendbare Services. Weiterhin können Annahmen über zukünftige Nutzer getroffen werden. Falls sich die Annahmen aber als falsch erweisen, wirken sich diese negativ auf die Servicequalität aus. Problematisch ist darüber hinaus, dass bei großen Softwarelandschaften alleine die Analyse existierender Nutzer sehr aufwendig ist. Prinzipiell muss auf eine vernünftige Generalisierung geachtet werden. Ein Kompromiss zwischen zu vielen Nutzern kann den Service verwässern und ihn für alle unbrauchbar machen. Der Designer sollte sich beim Entwurf dieser Probleme bewusst sein. Mit steigender Erfahrung werden sich die Qualität und die Wiederverwendbarkeit der Services verbessern. ([12])

3.7.3. Bewertung

Bei den vorgestellten Methoden Prozessdekomposition und Portfoliomanagement steht die fachliche Orientierung im Mittelpunkt. Durch die sehr kurze Beschreibung lassen sich aber keine konkreten Arbeitsschritte ableiten. Allerdings werden interessante Ansätze beschrieben, die in einer kombinierten Methode Verwendung finden. Ein Beispiel dafür ist die hierarchische Zerlegung der Geschäftsprozesse um gleichgranulare Prozessschritte zu identifizieren.

Beim Portfoliomanagement wird besonders auf die Wiederverwendbarkeit eingegangen. Die Überlegungen in diesem Zusammenhang können auch auf andere Ansätze übertragen werden. Es wird erläutert, wie wiederverwendbare Services identifiziert werden, aber auch welche Risiken dabei bestehen.

3.8. Keller-Methode zur Vervollständigung objektzentrierter Services

3.8.1. Die Optimierungsaufgabe beim Softwareentwurf

Keller [13] versucht, in seiner Arbeit die Frage zu beantworten, wie gute Services gefunden und beschrieben werden können. Generell zielt ein guter Serviceentwurf darauf ab, die Kosten des Softwareprojektes über seine Laufzeit zu minimieren. Allerdings haben derart viele Variablen einen Einfluss auf den Prozess der Softwareentwicklung, dass eine derartige Optimierungsaufgabe nicht gelöst werden kann. Aus diesem Grund kommen heuristische Verfahren zum Einsatz, bei denen ein positiver Einfluss auf die Zielsetzung nachgewiesen werden konnte.([13])

3.8.2. Ableiten der Operationen bei objektzentrierten Services

Bei objektzentrierten Services werden die Operationen um ein Geschäftsobjekt des Informationsmodells gruppiert (vgl. Kapitel 3.2.). Auf diese Weise wird die Unabhängigkeit der Services vom Prozessablauf gefördert. Außerdem weisen solche Services eine größere Stabilität gegenüber Änderungen der Geschäftsprozesse auf.

Die Keller-Methode [13] beschreibt heuristische Ansätze, wie die Funktionalität objektzentrierter Services vervollständigt werden kann. Zu diesem Zweck unterteilt er die Operationen in die folgenden drei Kategorien:

CRUD-Operationen Unter CRUD (Create, Read, Update, Delete) werden die Basisoperationen von Softwareobjekten zusammengefasst. Der Begriff stammt ursprünglich aus dem Bereich der Datenbanken. CRUD enthält die Operationen Objekt anlegen, Objekt lesen, Objekt ändern und Objekt löschen. Im SOA-Kontext ist allerdings umstritten, ob Services solche einfachen Operationen enthalten sollten. Es kann argumentiert werden, dass sie keinen ausreichenden Beitrag zur Wertschöpfung leisten.

Fachliche Operationen Bei diesen Operationen steht eine fachliche Funktion im Mittelpunkt. Typischerweise wird durch solch eine Operation ein Zustandsübergang des Geschäftsobjektes herbeigeführt. Beispielsweise wird ein Versicherungsvertrag angenommen, nachdem einige Prüfungen erfolgreich verlaufen sind.

Prozessservices Prozessservices bezeichnen Operationen, in die mehrere Geschäftsobjekte involviert sind. Dabei wird in der Regel die komplexe Ablauflogik eines Geschäftsprozesses oder eines Teilprozesses abgebildet. Keller schlägt vor, solche Operationen dem Hauptobjekt zuzuordnen. Während der Ausführung werden die Operationen der anderen Objekte aufgerufen. Es ist darauf zu achten, dass die Abstraktion der Schnittstelle nicht verletzt wird.

Nach der Klassifizierung der Operationen objektzentrierter Services soll nun auf deren Modellierung eingegangen werden. Bei CRUD-Operationen wird bei jedem Geschäftsobjekt entschieden, ob sie angeboten werden sollen. Prinzipiell können diese Basisfunktionen auch in Operationen mit einem größeren fachlichen Nutzen integriert werden.

Die fachlichen Operationen können mithilfe eines Zustandsdiagrammes identifiziert werden. Zu diesem Zweck werden die Zustände der Geschäftsobjekte definiert und im Diagramm dargestellt. Anschließend werden mögliche Zustandsübergänge als gerichtete Kanten im Diagramm ergänzt. Jede dieser Kanten repräsentiert eine fachliche Operation, die der jeweilige objektzentrierte Service anbieten muss. Die komplexen Prozessservices werden aus den Anwendungsfällen abgeleitet. Keller verweist in diesem Zusammenhang auf branchenspezifische Referenzarchitekturen, die auch zur Identifikation der Informationsobjekte verwendet werden können.([13])

3.8.3. Bewertung

Keller [13] geht in seinem Artikel auf heuristische Verfahren ein, die die Qualität des Entwurfsergebnisses verbessern sollen. Im Detail wurden in diesem Abschnitt Verfahren zur Identifikation objektzentrierter Services angeführt. Diese Ansätze sind keine eigenständige SOA-Entwurfsmethode. Es sind vielmehr Arbeitsschritte, die bei Methoden zur Identifikation

objektzentrierter Services zusätzlich angewendet werden können. Beispielsweise kann auf diese Weise die Vollständigkeit der Funktionalität der identifizierten Services überprüft werden.

Im Bezug auf die Architekturziele lassen sich nur wenige Aussagen zur Methode treffen. Beispielsweise werden Wiederverwendbarkeit, lose Kopplung und ausgewogene Granularität durch den Einsatz objektzentrierter Services gefördert.

4. Identifikation und Beschreibung relevanter Funktionsgruppen des MES

Nach der Einführung in die MES-Thematik aus dem zweiten Kapitel erfolgt nun die Betrachtung der Funktionalität. Die Abgrenzung des Funktionsumfanges gegenüber den Ebenen Unternehmensleitung und Automation kann dabei erheblich variieren. Daher sollen in diesem Kapitel relevante Funktionsblöcke identifiziert und mit Anforderungen hinterlegt werden. Zu diesem Zweck werden im ersten Teil relevante Standardisierungsbemühungen mit dem jeweils vorgeschlagenen Funktionsumfang vorgestellt. Aus diesen Betrachtungen werden Funktionsblöcke abgeleitet, die die Funktionalität des MES abstecken. Diese Blöcke dienen beim Serviceentwurf der Kategorisierung der entstehenden Services. Im letzten Abschnitt erfolgt eine Anforderungsanalyse, mit deren Hilfe den Funktionsblöcken gewünschte Funktionen zugeordnet werden. Diese Anforderungen sollen die Funktionsblöcke näher beschreiben und die Gesamtfunktionalität des MES genau abgrenzen. Aus den Ergebnissen werden im nächsten Kapitel die Geschäftsprozesse modelliert, die dann für den Serviceentwurf verwendet werden.

4.1. Wichtige Standardisierungsbemühungen zum Thema MES

4.1.1. ANSI / ISA S95

Die MES-Arbeit der *Instrumentation, Systems and Automation Society* (ISA) wird unter dem Titel S95 veröffentlicht. Sie wird von einem Komitee aus Anwendern und Herstellern von MES-Lösungen erstellt. Konkret soll definiert werden, was unter dem MES-Begriff zu verstehen ist. Dies geschieht aus verschiedenen Sichten, die in den jeweiligen Teilen der S95 beschrieben werden. Grundlage ist ein Architekturmodell der Softwarelandschaft in produzierenden Unternehmen. Die unterste Ebene ist die Automationsschicht, die für die Steuerung der Maschinen und Anlagen verantwortlich ist. Hier erfolgt eine Unterscheidung in diskrete, kontinuierliche und Batch-Produktion. Über der Automationsschicht ist das MES angeordnet. Die oberste Ebene bildet schließlich das Unternehmensmanagement. Hier werden beispielsweise die Grobplanung erstellt und Rohmaterialien, Energien und Personal verwaltet. Die beschriebene Architektur ist in Abbildung 4.1 dargestellt. ([42], [37], [35], [14] S.27/28)

Neben dieser Einteilung der Unternehmenssoftware wird ein hierarchisches Unternehmensmodell eingeführt, das auch größeren Firmen gerecht wird. Die erste Ebene beschreibt, welche Produkte auf welche Weise und an welchem Standort gefertigt werden. Die Produktionsstätten der zweiten Ebene sind durch ihre geographischen Standorte gekennzeichnet und verfügen über bestimmte Produktionskapazitäten. In der dritten Schicht werden einzelne Kapazitäten

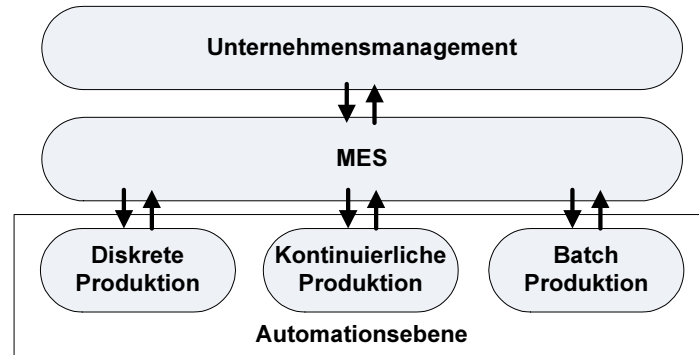


Abbildung 4.1.: Das Architekturmodell der Unternehmenssoftware nach ISA S95 ([35])

in Bereiche gruppiert. Eine Produktionsstätte besteht immer aus einem oder mehreren Bereichen. Die letzte Ebene wird je nach Art der Produktion sehr unterschiedlich beschrieben. In der Norm werden diesem sehr allgemeinen Aufbau moderner Produktionsunternehmen die Funktionsgruppen zugeordnet.

Die S95 besteht zu diesem Zeitpunkt aus drei Teilen. Die ersten beiden Teile beschäftigen sich mit der Terminologie und den Schnittstellen zwischen MES und ERP. Dabei werden verschiedene Ziele verfolgt. Zum einen werden funktional eigenständige Systeme beschrieben. Andererseits soll eine Basis für standardisierte Schnittstellen geschaffen und deren Anzahl minimiert werden. Zu diesem Zweck werden die Prozesse der Planungsebene von denen der Produktionsebene getrennt. Dabei müssen die Funktionen und die Zuständigkeiten im Unternehmen klar zugeordnet werden. Nur unter diesen Voraussetzungen und unter der Mitarbeit von MES- und ERP-Herstellern lassen sich standardisierte, effiziente und kostengünstige Verbindungen zwischen der Produktion und der Lieferkette schaffen. Sind die Funktionen zugeordnet, werden die grenzüberschreitenden Informationsflüsse mit fachlichen Datenobjekten beschrieben. Dabei werden die Objekte wie folgt unterteilt:

- Produktdefinition: Auf welche Weise und mit welchen Zwischenerzeugnissen wird ein Produkt hergestellt?
- Leistungsfähigkeit der Produktion: Was sind die verfügbaren Produktionsressourcen?
- Grobplanung: Was wird mit welcher Kapazität hergestellt?
- Produktionsperformance: Dokumentation der Produktion für Analysezwecke.

Weiterhin werden die Objekte durch ihre Attribute näher beschrieben. Dabei handelt es sich um eine fachlich orientierte, technologieunabhängige Beschreibung.

Der dritte Teil der Norm beschreibt die Prozesse in der Produktion und die Informationsverarbeitung innerhalb des MES. Diese Abläufe sollen nachfolgend auf MES-Ebene erläutert werden. Die Produktionsdefinition wird im MES entgegengenommen und an das Produktionsdefinitionsmanagement übergeben. Hier werden alle Aktivitäten verwaltet, die in Zusammenhang mit der Produktion eines Produktes stehen. Das Produktionsressourcenmanagement überwacht alle verfügbaren Ressourcen wie Maschinen, Personal und Material. Es berechnet

außerdem die Leistungsfähigkeit der Produktion, die an das ERP übergeben wird. Die Feinplanung wird aus der Grobplanung unter Berücksichtigung des aktuellen Produktionsstandes und der aktuellen Ressourcenverfügbarkeit erstellt. Sie ist die Grundlage für die Arbeitsverteilung. Dabei werden die benötigten Ressourcen zum geplanten Zeitpunkt zusammengeführt. Während und nach der Produktion werden alle relevanten Daten gesammelt. Diese Informationen bilden wiederum die Basis für die Performanceanalyse und die Produktionsverfolgung. Daraus wird letztlich auch die Produktionsperformance für das ERP berechnet. Der gesamte Ablauf ist zur Veranschaulichung in Abbildung 4.2 dargestellt.

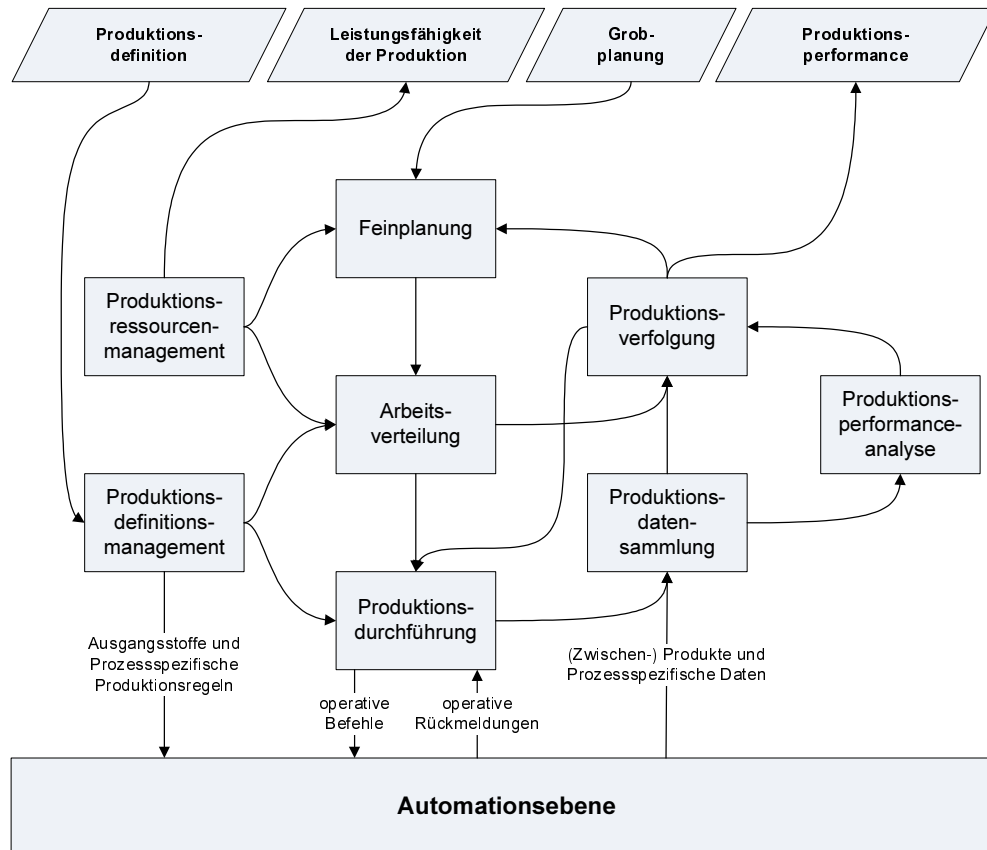


Abbildung 4.2.: Das Prozessmodell eines MES nach ISA S95 ([37])

4.1.2. MESA

Die *Manufacturing Enterprise Solution Association* (MESA) ist die erste Organisation, die sich mit dem Thema MES beschäftigt hat. Sie ist ein Zusammenschluss von Fertigungsunternehmen, Systemintegratoren und Beratern sowie Hard- und Softwarelieferanten. Die MESA hat sich zum Ziel gesetzt, die vertikale Integration zwischen Fertigung und Unternehmensmanagement zu verbessern. Dadurch soll die Produktion besser in das Unternehmen integriert werden. Darüber hinaus sollen alle Informationen definiert und kategorisiert werden, die vor, während und nach der Produktion entstehen. In diesem Zusammenhang wird zwischen Prozessindustrie und diskreter Fertigung unterschieden. ([41], [32], [38], [16], [14] S.25/26)

Das erste Whitepaper wurde 1997 veröffentlicht und beschrieb verschiedene Funktions-

gruppen, aus denen sich ein MES zusammensetzt. 2004 folgte die Beschreibung des C-MES (Collaborative-MES). Damit wurde das MES als die zentrale Integrationsplattform in produzierenden Unternehmen darstellt. Die Grundidee war, dass die Produktion der wichtigste Teil im produzierenden Unternehmen ist und damit auch der IT-Mittelpunkt hier angesiedelt werden sollte. Die heutigen Modelle orientieren sich an der Umsetzung und der Unterstützung verschiedener Strategieinitiativen. Beispiele für solche Initiativen sind:

- Schlanke Produktion: Dabei handelt es sich um eine Unternehmensphilosophie, in der alle unnötigen Arbeitsschritte weggelassen werden. Dieses Ziel soll durch eine intelligente Organisation und innovative Veränderungen erreicht werden.
- Echtzeit-Unternehmen: Alle Geschäftsprozesse sollen an der Wertschöpfungskette ausgerichtet werden. Die auftretenden Daten sollen umgehend, also in Echtzeit, zur Verfügung stehen. Auf diese Weise werden schnelle Reaktionen auf Störungen und automatische Ausnahmebehandlung ermöglicht.

Die MESA versucht auf MES-Ebene diese Initiativen umzusetzen und deren Erfolg zu messen.

Nachfolgend sollen die im MESA-Funktionsmodell enthaltenen elf Hauptkategorien aufgezählt und erläutert werden:

1. Feinplanung: Bei der Feinplanung erfolgt die Festlegung der Reihenfolge und Zeitoptimierung der Aufträge auf Basis der Grobplanung des ERP. Berücksichtigt werden weiterhin die benötigten Ressourcen, relevante Randbedingungen und aktuelle Daten.
2. Ressourcenmanagement: Dabei werden alle relevanten Ressourcen überwacht, verfolgt und dokumentiert. Das beinhaltet insbesondere Personal, Maschinen, Material und Werkzeuge.
3. Steuerung der Produktionseinheiten: Der Fluss der Produktionseinheiten wird auf Basis der Aufträge gesteuert. Dazu ist es erforderlich, dass alle notwendigen Ressourcen zum geplanten Zeitpunkt zusammengeführt werden. Während der Abarbeitung wird der Prozess überwacht und gegebenenfalls auf Probleme reagiert.
4. Informationsmanagement: Die Aufgabe des Informationsmanagements besteht im Verwalten und Verteilen aller Dokumente und Informationen. Beispiele dafür sind qualitätssichernde Arbeitsanweisungen und Konstruktionsinformationen. Ziel ist es, dass dem Personal je nach Situation alle relevanten Daten zur Verfügung stehen.
5. Produktverfolgung: In diesem Zusammenhang werden aller produktrelevanter Daten über die gesamte Prozesskette hinweg aufgezeichnet. Dadurch wird die Rückverfolgung jedes Produktes gewährleistet.
6. Performanceanalyse: Die Performanceanalyse berechnet zur ständigen Beurteilung der Produktionseffizienz und zur Problemidentifikation betriebswirtschaftliche Kennzahlen

aus aktuellen Produktionsinformationen. Die Vorgaben durch das Unternehmen und den Kunden sowie gesetzliche Vorschriften bilden dafür die Grundlage.

7. Labormanagement: Definieren und Steuern von manuellen Eingriffen basierend auf Qualifikation, Arbeitsvorlage und Geschäftsbedürfnis.
8. Wartungsmanagement: Dieser Funktionsblock umfasst die Aufzeichnung des Verbrauchs und der Betriebsstunden der Betriebsmittel. Auf dieser Grundlage werden periodische Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten geplant und durchgeführt.
9. Prozessmanagement: Das Prozessmanagement steuert und leitet den Produktionsprozesses. Das beinhaltet auch die Bereitstellung verschiedener Alarmfunktionen.
10. Qualitätsmanagement: Im Rahmen des Qualitätsmanagements erfolgt das Aufzeichnen, Verfolgen und Analysieren der Prozesse und Produkte, sowie der Abgleich mit dem Idealbild.
11. Betriebsdatenerfassung: Alle relevanten Daten werden durch die Betriebsdatenerfassung aufgezeichnet, organisiert und visualisiert. Die Erhebung kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen.

4.1.3. VDI Richtlinie 5600

Der für das Thema zuständige Ausschuss des *Verbandes Deutscher Ingenieure* (VDI) hat sich die neutrale und verständliche Beschreibung des MES zur Aufgabe gemacht. Dabei soll der Begriff besonders vor der marketinggetriebenen Erosion geschützt werden. Ziel der Richtlinie ist die Erstellung eines Leitfadens für MES Projekte und die Schaffung einer Vergleichsgrundlage, mit der Lösungen verschiedener Anbieter bewertet werden können. Die Arbeiten der MESA und der ISA bilden dabei die Grundlage. Im Gegensatz zu diesen handelt es sich bei der VDI 5600 aber eher um einen anwenderorientierten Leitfaden für den MES-Einsatz. Die Darstellung des Nutzens, den ein Anwender erwarten kann, steht im Vordergrund. ([27], [50], [39], [40], [14] S.30)

Wie die anderen Organisationen beschreibt auch der VDI eine dreischichtige Softwarearchitektur, in der das MES das Bindeglied zwischen Unternehmensmanagement und Automationsebene bildet. Im Kern besteht die Aufgabe eines MES in der Erfassung, Analyse und Beeinflussung aller relevanten Parametern des Produktionsprozesses. Dabei unterscheidet es sich im zeitlichen Horizont von den anderen Ebenen. Während das ERP mit Tagen und Wochen und die Automationsebene mit Millisekunden und Sekunden arbeiten, operiert das MES in Sekunden und Schichten. Dabei geht es aber nur um den zeitlichen Horizont. Die Datenerfassung sollte in Echtzeit erfolgen, denn eine schnelle Verbesserung erfordert einen direkten Prozesseingriff. Das gelingt nur, wenn während des Prozesses Analysen erfolgen.

Die Aufgabenbereiche eines MES umfassen Prozessvorgaben, operative Aktivitäten und die Analyse der Produktionsergebnisse. Diese allgemeine Beschreibung des KVP, die in Abbildung

4.3 dargestellt ist, findet sich in jedem produzierenden Unternehmen und entspricht dem prozessorientierten Ansatz.

Bei der Produktion werden mit den Ressourcen Aufträge bearbeitet. Die Verwaltung dieser Ressourcen und die Durchsetzung der Aufträge mit ihren Arbeitsgängen fallen ebenfalls in den Zuständigkeitsbereich des MES. Aufbauend auf diesen allgemeinen Aussagen werden acht Aufgaben definiert, die ein MES erfüllen kann. Diese Aufgaben werden im Anschluss detailliert erläutert. Die beschriebenen Beziehungen zwischen den Aufgabenbereichen sind in Abbildung 4.4 dargestellt.

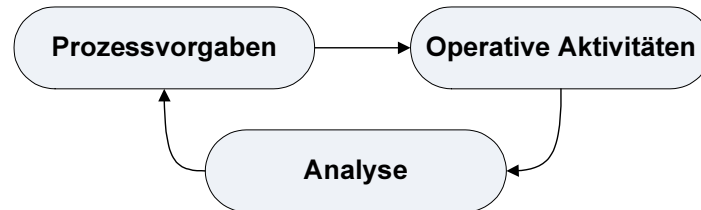


Abbildung 4.3.: Der Prozessorientierter Ansatz der VDI Norm

1. Feinplanung / Steuerung: Die Feinplanung überführt die Planung des ERP in den kleineren zeitlichen Horizont des MES. Dabei werden aktuelle Prozessinformationen und die Status der Ressourcen verwendet. Während der Bearbeitung der Prozesse kann die Steuerung auf aktuelle Ereignisse reagieren und den Plan anpassen. Dabei wird die alte Planung aber nicht verworfen, sondern lediglich aktualisiert und optimiert.
2. Betriebsmittelmanagement: Unter Betriebsmitteln sind Maschinen, Anlagen, Werkzeuge und Hilfsmittel zusammengefasst. Das Betriebsmittelmanagement misst die Einsatzzeiten und beurteilt die Verfügbarkeiten. Die aktuellen Status werden unter anderem von der Feinplanung verwendet. Ein weiteres Ziel ist die Erhöhung der Verfügbarkeit durch periodische Wartungsarbeiten.
3. Materialmanagement: Das Materialmanagement verwaltet die Umlaufbestände, versorgt die Arbeitsplätze und organisiert den Abtransport der fertigen Erzeugnisse. Weiterhin werden Chargen überwacht und Materialstatus für andere Aufgaben bereitgestellt.
4. Personalmanagement: Die effektive Planung und Bereitstellung von Personalkapazitäten je nach Verfügbarkeit und Qualifikation liefert einen wesentlichen Beitrag für eine effiziente Produktion. Außerdem werden im Personalmanagement Arbeitszeiten erfasst und Zeitkonten geführt. Darüber hinaus wird die Umsetzung gesetzlicher Rahmenbedingungen überwacht.
5. Datenerfassung: Eine zeitnahe Datenerfassung ist die Basis und die Voraussetzung für jedes Echtzeitsystem. Dabei wird zwischen manueller, halbautomatischer und vollautomatischer Erfassung unterschieden. Eine wichtige Quelle von Informationen sind die Anlagen der Automationsebene. Daher werden die Definition und die Pflege der Schnittstellen der Datenerfassung zugeordnet. Weiterhin erfolgen einfache Plausibilitätsprüfungen und eine Vorverarbeitung der Informationen für andere Aufgaben.

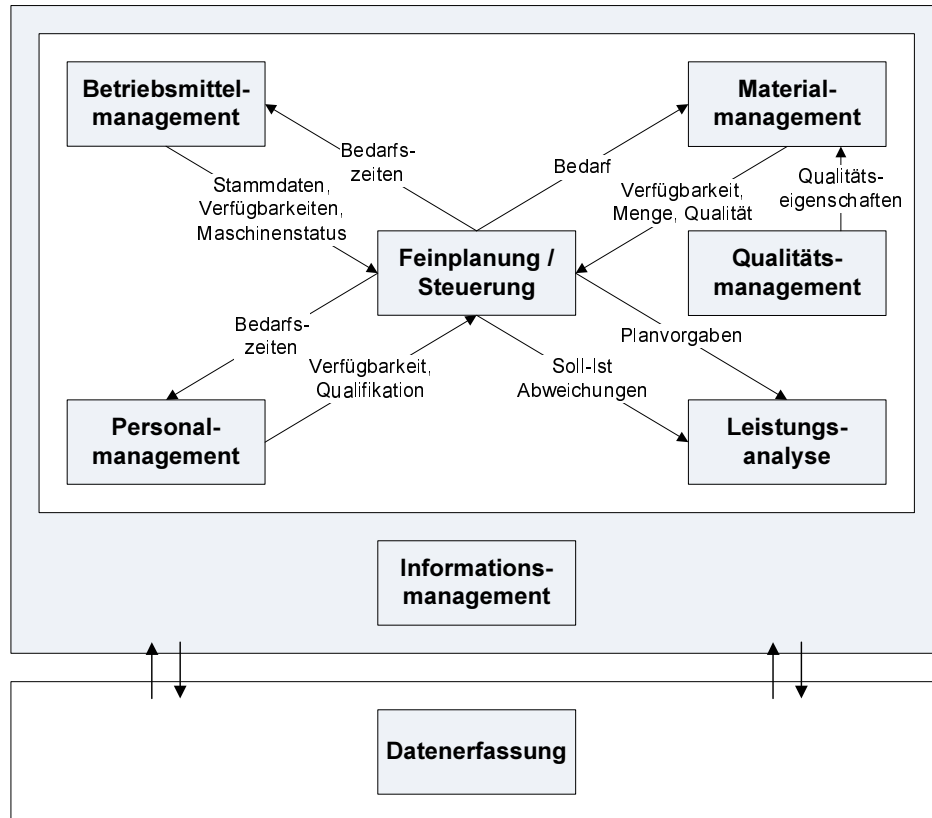


Abbildung 4.4.: Die Funktionsgruppen und ihre Beziehungen nach VDI 5600 ([27])

6. Leistungsanalyse: Durch permanenten Soll-Ist-Abgleich der aufgenommenen Daten mit den Vorgaben erfolgt eine ständige Echtzeitbeurteilung des Produktionsprozesses. Nur so kann schnell auf Fehler und Probleme reagiert werden. Daneben wird eine langfristige Datenbasis als Vergleichsgrundlage angelegt. Die Erkenntnisse sowie die berechneten Kennzahlen werden beispielsweise dem Qualitätsmanagement zur Verfügung gestellt.
7. Qualitätsmanagement: Ziel des Qualitätsmanagements ist die Herstellung hochwertiger Produkte und die Einhaltung von Vorschriften und Normen. Zu diesem Zweck werden Qualitätsmaßnahmen geplant und durchgeführt. Bei negativen Ergebnissen sollte direkt in den Prozess eingegriffen werden, um den Herstellungsverlust zu minimieren. Die Ergebnisse der Qualitätsuntersuchungen werden anderen Aufgaben zur Verfügung gestellt. Weiterhin zählt die Verwaltung der Prüfmittel zu dieser Aufgabe.
8. Informationsmanagement: Informationen sind in heutigen Unternehmen wesentliche Betriebsmittel. Das Informationsmanagement soll die für die Fertigung notwendigen Informationen bereitstellen. Die Daten müssen je nach Anforderung aufbereitet und am Arbeitsplatz verfügbar gemacht werden. Sie dienen zur Prozessbeobachtung und als Grundlage für das Auslösen von Gegenmaßnahmen. Die Informationsverbreitung sollte dabei effektiv gestaltet und möglichst durch Workflows umgesetzt werden. Weitere Aufgaben sind das Speichern und Auffindbar machen von Informationen.

4.1.4. NAMUR NA 94 und NA 110

Die *Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie* (NAMUR) ist eine Vereinigung von Anwendern aus der Prozessindustrie. Die in den Arbeitsblättern NA 94 und NA 110 entwickelte MES-Definition basiert auf der ISA S95. Diese wird an die Belange der Prozessindustrie angepasst. Die Norm beschreibt detailliert Funktionen und Informationsflüsse. Allerdings erfolgt keine klare Trennung zwischen MES- und Automationsebene. Das liegt vor allem daran, dass in der Prozessindustrie Teile des Fertigungsmanagements in den Maschinen und Anlagen abgebildet werden. Aufgrund der geringeren Variationsmöglichkeit der Produktion ist ebenfalls die Grenze zwischen Grob- und Feinplanung sowie zwischen mittel- und kurzfristiger Planung unschärfer.

Die NAMUR beschreibt sechs Funktionsbereiche, aus denen sich ein MES zusammensetzt ([14] S.29):

1. Betriebsübergreifende Produktionsplanung: Dieser Funktionsbereich ist für die Erstellung der Grobplanung zuständig. Der Primärbedarf wird dabei unternehmensweit eingeplant.
2. Bestandsführung: Die Bestandsführung überwacht die Bestände an Einsatzstoffen und Endprodukten. Dabei werden eingehende und ausgehende Lieferungen sowie Produktionsergebnisse berücksichtigt.
3. Produktionsplanung: Die Feinplanung kombiniert die Grobplanung mit kurzfristigen Produktionsaufträgen. Dabei werden Auftragsrückmeldungen, Ressourcenverfügbarkeit und dispositive Bestände berücksichtigt.
4. Produktions- und Materialflusssteuerung: Dieser Funktionsbereich ist für die Durchführung des Produktionsprozesses auf Grundlage der Feinplanung verantwortlich.
5. Produktionsdokumentation: Die Produktionsdokumentation archiviert systematisch die während der Produktion gesammelten Daten und die Ergebnisse der Qualitätsmaßnahmen.
6. Qualitätsmanagement: Das Qualitätsmanagement ist für die Planung und Überwachung der qualitätssichernden Maßnahmen verantwortlich.

4.2. Ableitung relevanter Funktionsgruppen

Im Kern dieser Diplomarbeit wird ein allgemeines MES betrachtet. Dennoch ist eine Unterscheidung der zugrunde liegenden Produktionsart von Bedeutung. Das untersuchte MES soll auf einer diskreten oder losorientierten Fertigung basieren. Dabei kann die Grenze zwischen MES- und Automationsebene klarer gezogen werden.

Aufgrund der Abteilungsstruktur und den verschiedenen Aufgabenbereichen erfolgt in Unternehmen häufig eine Einteilung der Funktionalität auf MES-Ebene in die Bereiche Produk-

tion, Qualität und Personal ([14]). Diese Einteilung soll übernommen und durch verschiedene Funktionsblöcke verfeinert werden.

4.2.1. Datenerfassung und das Informationsmanagement

Von der Unterteilung in die Funktionsbereiche ausgenommen sind die Datenerfassung und das Informationsmanagement. Das Sammeln, Verwalten und Bereitstellen von Informationen ist ein zentrales Anliegen eines MES und erstreckt sich auf alle Bereiche. Dadurch soll auch der Forderung nach einer zentralen Datenhaltung Rechnung getragen werden.

Die Datenerfassung beinhaltet verschiedene Bereiche. Bei der Produktion wird beispielsweise von Maschinendatenerfassung gesprochen. Das beinhaltet vor allem Nutzerinterfaces zur manuellen und Maschinenschnittstellen zur automatischen Datenerfassung. Eine weitere Aufgabe ist die Betriebsdatenerfassung. Dabei werden Materialverbrauch, Betriebsmittelabnutzung und die Produktionsergebnisse aufgenommen. Im Rahmen der Qualitätssicherung werden hauptsächlich Messwerte aufgezeichnet. Im Bereich Personal steht die Personalzeiterfassung im Mittelpunkt. Neben diesen Aufgaben sind die Schnittstellen zum ERP wichtige Datenquellen.

Während die Datenerfassung für eingehende Daten zuständig ist, sorgt das Informationsmanagement für die Weitergabe der aufbereiteten Informationen. Das beinhaltet einerseits das Bereitstellen der jeweils relevanten Informationen zur Unterstützung der Mitarbeiter und andererseits die Weitergabe der Daten über die Schichtgrenzen hinaus.

Neben diesen zentralen Aufgaben werden nachfolgend die einzelnen Funktionsbereiche näher betrachtet.

4.2.2. Funktionsbereich Produktion

Der Kern in einem produzierenden Unternehmen ist die Produktion. Wie auch in den betrachteten Arbeiten der Standardisierungsorganisationen ist hier die Feinplanung eine zentrale Aufgabe. Dabei wird aus der Grobplanung des ERP schrittweise eine optimierte zeitliche Einordnung aller nötigen Arbeitsschritte erstellt. Unterstützt wird dieser Vorgang durch aktuelle Informationen über Material und Ressourcen. Außerdem wird durch das Produktionsmanagement die Abfolge der Arbeitsschritte bereitgestellt, die für die Produktion des jeweiligen Erzeugnisses erforderlich sind. Generell sollte es sich um eine automatisierte Planung handeln, in die manuell eingegriffen werden kann.

Ein weiterer Funktionsblock ist das Ressourcenmanagement. Dabei geht es um die technologieorientierte Verwaltung von Maschinen, Werkzeugen und Fertigungshilfsmitteln. Das beinhaltet unter anderem den Zustand, die Verfügbarkeit, die Kompatibilität und die qualitative Beurteilung. Zusätzlich werden präventive Wartungsarbeiten geplant und überwacht.

Das zur Produktion benötigte Material sowie die erzeugten Zwischen- und Endprodukte werden im Materialmanagement verwaltet. Neben Informationen über die Status geht es dabei um den An- und Abtransport im Rahmen der Produktion. Zudem erfolgt eine Materialplanung, die Engpässe erkennt und vermeidet sowie Funktionen zur Minimierung des

Umlaufvermögens bereithält.

Im Rahmen des Produktionsmanagements geht es um die Verwaltung der Stücklisten und der Arbeitspläne. Die Stücklisten definieren, welche Bestandteile für die Herstellung eines Erzeugnisses benötigt werden. Die Arbeitspläne unterteilen den Produktionsprozess einzelner Erzeugnisse in konkrete Arbeitsgänge und deren Reihenfolge. Weiterhin werden relevante Randbedingungen der Arbeitsgänge verwaltet. Das beinhaltet beispielsweise die geeigneten Maschinen oder die erforderliche Qualifikation der Mitarbeiter.

Die Ablaufsteuerung ist während der Ausführung für die Steuerung der jeweiligen Prozesse zuständig. Dabei werden die geforderten Anfangsbedingungen hergestellt, die Produktion überwacht sowie die Nacharbeiten und der Abtransport organisiert. Für die Ablaufsteuerung und Feinplanung werden Informationen aus Ressourcenmanagement, Materialmanagement und die Produktionsdefinitionen verwendet.

4.2.3. Funktionsbereich Qualität

Zunächst soll der Funktionsblock Analyse beschrieben werden, der Funktionen aus den Bereichen Produktion und Qualität kombiniert. Im Allgemeinen beinhaltet das den Abgleich von Soll- und Ist-Werten und die Ableitung entsprechender Maßnahmen. Dazu kommen bei bekannten Problemen automatisierte Workflows zum Einsatz. Bei unbekannten Störungen hingegen erfolgt die Benachrichtigung der jeweiligen Entscheidungsträger. Neben den einfachen Daten können auch betriebswirtschaftliche Kennzahlen, aggregierte Werte oder Produktionsspezifika für die Vergleiche herangezogen werden. Weiterhin werden Berichte und Analysen zur Auswertung der Prozesse erstellt. Die zugrundeliegenden Daten stammen dabei aus beiden Funktionsbereichen.

Das Messmittelmanagement ist ein zentraler Funktionsblock der Qualitätssicherung. Dabei geht es um die Verwaltung von Prüf- und Messmitteln. Es ist sicherzustellen, dass sie den Normen und gesetzlichen Vorschriften entsprechen und für die jeweilige Prüfung geeignet sind.

Die Qualitätsprüfungen werden hauptsächlich auf Basis der Feinplanung geplant und überwacht. Beispiele für solche Prüfungen sind Wareneingangs- und Stichprobenprüfung.

4.2.4. Funktionsbereich Personal

Im Funktionsbereich Personal soll zunächst das Personalmanagement betrachtet werden. Dabei geht es um die Verwaltung der Mitarbeiter, die an der Produktion beteiligt sind. Insbesondere werden die Verfügbarkeit und die Qualifikation überwacht. Durch eine Zusammenfassung zu Qualifikationsgruppen und der Aufzeichnung der Auslastung können Engpässe erkannt und Einstellungen oder Weiterbildungsmaßnahmen gezielt geplant werden.

In der Personaleinsatzplanung werden die Mitarbeiter mit Hilfe der Feinplanung den Arbeitsgängen zugeordnet. Dabei werden relevante Randbedingungen wie Verfügbarkeit oder Qualifikation der Mitarbeiter berücksichtigt. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der effektiven Nutzung der teuren Ressource Personal zu.

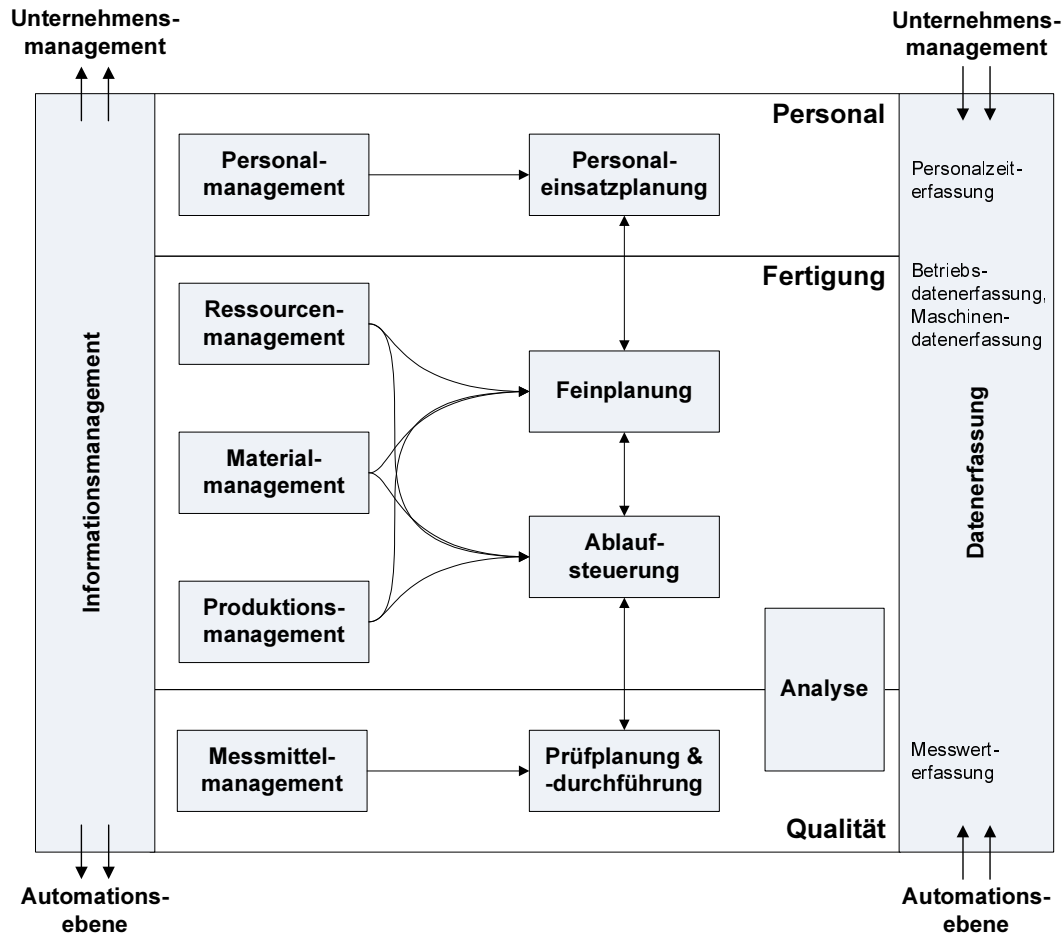


Abbildung 4.5.: Die abgeleiteten Funktionsgruppen und ihre Beziehungen

Alle Funktionsblöcke und ihre Verbindungen sind zur besseren Übersicht der Funktionalität des MES in Abbildung 4.5 dargestellt. Es handelt sich dabei aber nicht um einen allgemeingültigen Funktionsumfang, den ein MES erfüllen muss. Der hängt von den Gegebenheiten im jeweiligen Unternehmen, den existierenden Prozessen und den eingesetzten Softwaresystemen ab. Die Festlegung des Funktionsrahmens soll für die vorliegende Arbeit die Grenze zu den Ebenen Unternehmensmanagement und Automation festlegen, damit die Geschäftsprozesse eindeutig zugeordnet werden können.

4.3. Anforderungsanalyse

Nachdem die Funktionsblöcke aus den Normen und Arbeiten der wichtigsten Standardisierungsorganisationen abgeleitet wurden, sollen nun wesentliche Anforderungen und Aufgaben eines MES zusammengetragen und den Funktionsblöcken zugeordnet werden. Dieser Schritt wird in der Softwareentwicklung als Anforderungsanalyse bezeichnet. Damit soll sichergestellt werden, dass das neue Softwaresystem die geforderte Funktionalität bereitstellt. Im Normalfall werden zu diesem Zweck beispielsweise die Geschäftsabläufe im Unternehmen analysiert und

Interessenhalter befragt. Im Anschluss daran werden Geschäftsanwendungsfälle modelliert und mit allen Beteiligten abgestimmt. Ein solches Vorgehen ist im Rahmen der Diplomarbeit nicht möglich. Aus diesem Grund werden die Anforderungen aus dem Funktionsumfang repräsentativer, auf dem Markt verfügbarer, MES-Produkte abgeleitet ([30], [31], [29], [28]) und der Fachliteratur entnommen (u.a. [14], [15], [45]). Im Folgenden werden die verschiedenen Funktionsblöcke durch die gefundenen Anforderungen genauer beschrieben.

Im nächsten Kapitel werden auf Basis dieser Anforderungen die Geschäftsprozesse modelliert. Es ist zu beachten, dass die Geschäftsprozesse unabhängig von den Funktionsblöcken sind. Einem Geschäftsprozess können Funktionen eines oder mehrerer Blöcke zugeordnet werden. Die Geschäftsprozesse bilden die Grundlage für den Entwurf der SOA, der ebenfalls im nächsten Kapitel beschrieben wird.

4.3.1. Ressourcenmanagement

Die wichtigste Aufgabe des Ressourcenmanagements ist die Verwaltung der Maschinen und Anlagen sowie der Werkzeuge und Hilfsstoffe. Werkzeuge können nur in Verbindung mit Maschinen benutzt werden. Beispielhaft für diese Beziehung ist die Verbindung von Bohrmaschine und Bohrer. Beide Objekte werden über eine Kompatibilitätsmatrix verbunden. Darin enthalten ist, welches Werkzeug mit welcher Maschine verwendet werden kann.

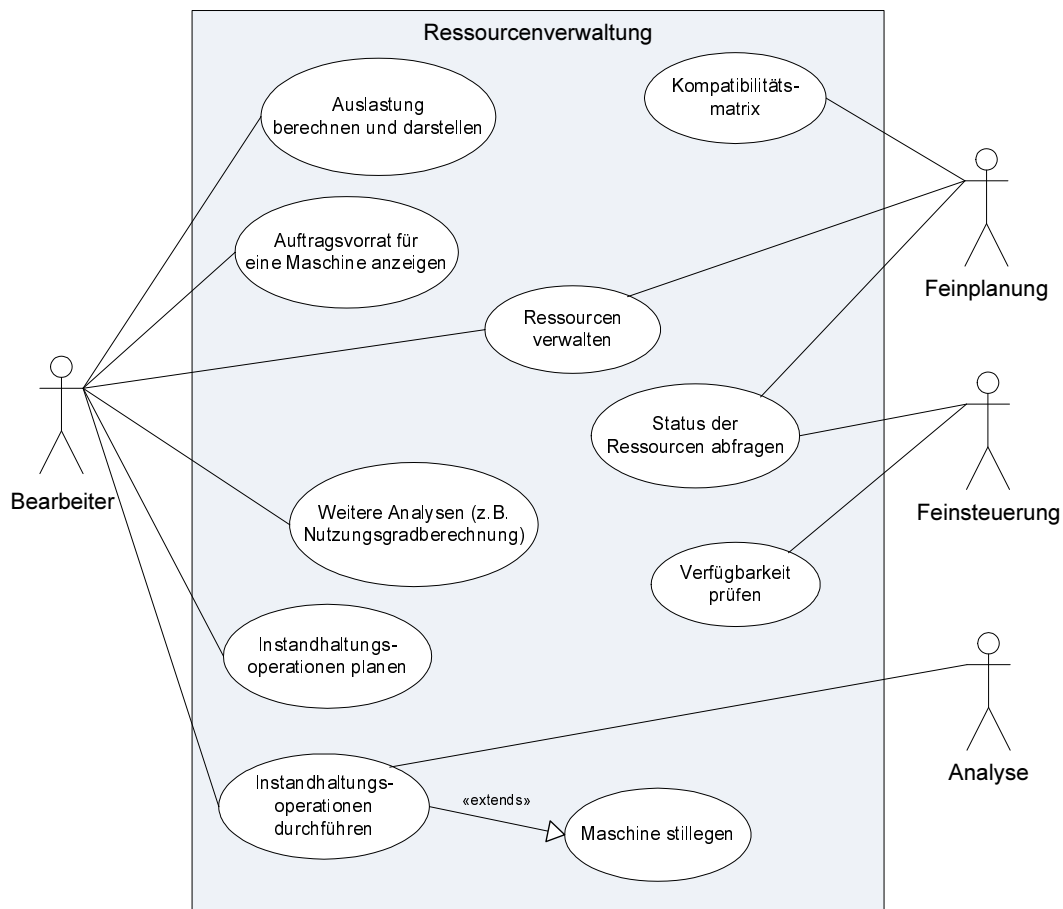


Abbildung 4.6.: Das Use-Case-Diagramm des Funktionsblocks Ressourcenmanagement

Für die mittelfristige Planung werden aus den einzelnen Ressourcen Maschinen- und Werkzeuggruppen gebildet. Den Arbeitsgängen werden in den verschiedenen Planungsstufen zunächst Ressourcengruppen und später einzelne Ressourcen zugeordnet. Für alle Objekte werden eine Reihe von Stammdaten verwaltet. Daneben werden Status, Betriebsmittelkonten und Störklassen definiert, aufgenommen und bereitgestellt. Der aktuelle Status einer Maschine ist beispielsweise für die Planung von besonderem Interesse.

Im Rahmen der Feinplanung werden Maschinen oder Maschinengruppen über mehrere Perioden hinweg verplant. Aus dieser Planung und den Daten vergangener Perioden werden Berichte und Analysen erstellt. Beispielsweise kann die Auslastung mit ihrem Verlauf und dem Durchschnittswert für eine Maschine oder eine Maschinengruppe ermittelt werden. Diese Daten lassen sich als Kapazitätsgebirge oder Auslastungsgrafiken anzeigen. Mit Hilfe dieser können unter anderem Investitionsentscheidungen getroffen werden.

Eine weitere Aufgabe ist die Anzeige des Auftragsvorrates für eine Maschine. Damit werden die Mitarbeiter in der Produktion informiert, welche Arbeitsgänge als nächstes durchgeführt werden.

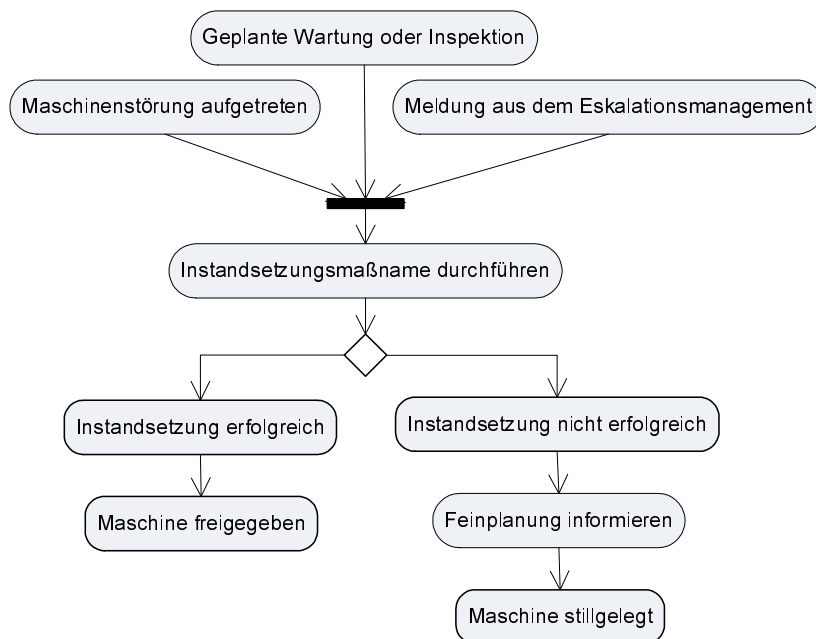


Abbildung 4.7.: Das Aktivitätsdiagramm der Funktionsgruppe Instandhaltung

Das Ressourcenmanagement umfasst weiterhin Instandhaltungsfunktionen. Darunter sind Inspektionen, Wartungsarbeiten und Instandsetzung zusammengefasst. Mit geplanten Inspektionen wird der Ist-Zustand erfasst. Daneben erhalten regelmäßige Wartungsarbeiten den Soll-Zustand der Maschinen. Diese beiden Aufgaben werden nach Modellen zur vorbeugenden Instandhaltung geplant und durchgeführt. Die dabei entstehenden Maschinenstillstände werden durch die Feinplanung berücksichtigt.

Auftretende Störungen und Probleme werden durch Instandsetzungsarbeiten behoben. Dadurch wird der Soll-Zustand der Ressourcen wiederhergestellt. In diesem Zusammenhang werden weiterhin Ersatzteile und Fertigungshilfsmittel verwaltet.

Neben der internen Planung können die Aufgaben der Instandhaltung auch durch das Eskalationsmanagement (Teil des Blocks Analyse) ausgelöst werden. Der typische Ablauf ist in Abbildung 4.7 als Aktivitätsdiagramm dargestellt.

Neben den beschriebenen Anforderungen gehören auch die Nutzungsgradberechnung von Werkzeugen und die Simulation von Zykluszeiten bei der Serienfertigung zu den Aufgaben des Funktionsblocks. Die wichtigsten Funktionen der Ressourcenverwaltung sind in Abbildung 4.6 zusammengefasst. Die beiden Abbildungen dienen neben der Beschreibung der Anforderungen als exemplarische Beispiele. Bei der normalen Anforderungsanalyse erfolgt die Kommunikation mit den Interessenthalten und den Projektbeteiligten durch solche UML-Diagramme. Da im Rahmen dieser Diplomarbeit keine weiteren Projektbeteiligten existieren, wird bei den meisten anderen Funktionsblöcken auf dieses Beschreibungselement verzichtet.

4.3.2. Materialmanagement

Die Hauptfunktion des Materialmanagements ist die Verwaltung der Materialien. Dazu zählen Rohmaterialien, Einzelteile, Baugruppen und Enderzeugnisse. Diese Kategorisierung wird wie folgt definiert:

- Einzelteile entstehen aus der Bearbeitung eines Rohmaterials, das in der Regel durch externe Lieferanten bereitgestellt wird.
- Baugruppen bestehen aus mehreren Einzelteilen oder wieder anderen Baugruppen.
- Enderzeugnisse sind Baugruppen, die nicht weiterverarbeitet werden.

Alle Objekte des Materialmanagements können unter dem Oberbegriff Teil zusammengefasst werden. Weitere Spezialisierungsmerkmale sind Herkunft und Verkaufsfähigkeit. Beispielsweise können einzelne Baugruppen ebenfalls von Lieferanten bezogen werden. Andere werden intern weiterverarbeitet, aber auch direkt verkauft.

Eine weitere Kernaufgabe ist die Materialplanung. Beispielsweise werden aus der Feinplanung Bestellbedarfe abgeleitet. Daraus werden innerhalb des Materialmanagements Bestellungen generiert. Die Gesamtaufgabe der Beschaffung wird dabei zwischen MES (Bedarfsplanung) und ERP (Bestellausführung und Überwachung) aufgeteilt. Um den reibungslosen Ablauf der Produktion zu gewährleisten, erfolgt die Reservierung einzelner Teile durch die Planung, damit sie nicht anderweitig verwendet werden. Zur Sicherheit existiert für jedes Material eine definierbare Puffermenge, die bei ungeplanten Ereignissen einen gewissen Handlungsspielraum erlauben. Neben den Abgängen werden auch Zugänge durch Beschaffung und Produktion vermerkt. Aus diesen Daten können Materialentwicklungen simuliert, der Bestandsverlauf erstellt und Reichweitenbetrachtungen durchgeführt werden. Bei verderblichen Waren erfolgen Warnungen, wenn die Gefahr besteht, das Verfallsdatum zu überschreiten.

Die Lagerverwaltung ist ein weiterer Teil des Materialmanagements. Sie umfasst Aus- und Einlagerungsfunktionen sowie Teileidentifikation, Lagerübersicht und Kommissionierung. Eng damit verbunden ist die Transportsteuerung. Dabei werden der Antransport vor der Produktion und der Abtransport danach organisiert. Es handelt es sich um Transporte von und zum

Lager, aber auch um die Beförderung zwischen den Arbeitsplätzen. Die zur Planung nötigen Lager- und Transportaufträge werden aus der der Feinplanung abgeleitet.

Die Lagerverwaltung muss weiterhin bewegliche Lagerbehälter erfassen. Dabei sind Transportmarkierungen zu erstellen und zu identifizieren. Zu diesem Zweck müssen Basistechnologien wie RFID oder Barcode unterstützt werden. Die Chargendaten der Lieferungen müssen aufgenommen und Chargenwechsel registriert werden. Zusätzlich sind für jedes Teil die Chargennummern seiner Bestandteile zu speichern.

4.3.3. Produktionsmanagement

Im Produktionsmanagement werden Arbeitspläne und Stücklisten verwaltet. Stücklisten sind Definitionen von Enderzeugnissen, Baugruppen und Einzelteilen. Sie enthalten Teile und Mengen, die zur Produktion des jeweiligen Teils benötigt werden. Um Redundanzen zu vermeiden, erfolgt die Speicherung als Gozintograph. Gibt es bei den Enderzeugnissen Überschneidungen in den Stücklisten, so kann die gesamte Produktion durch einen Graphen beschrieben werden. Zur Veranschaulichung ist ein Gozintographen exemplarisch in Abbildung 4.8 dargestellt.

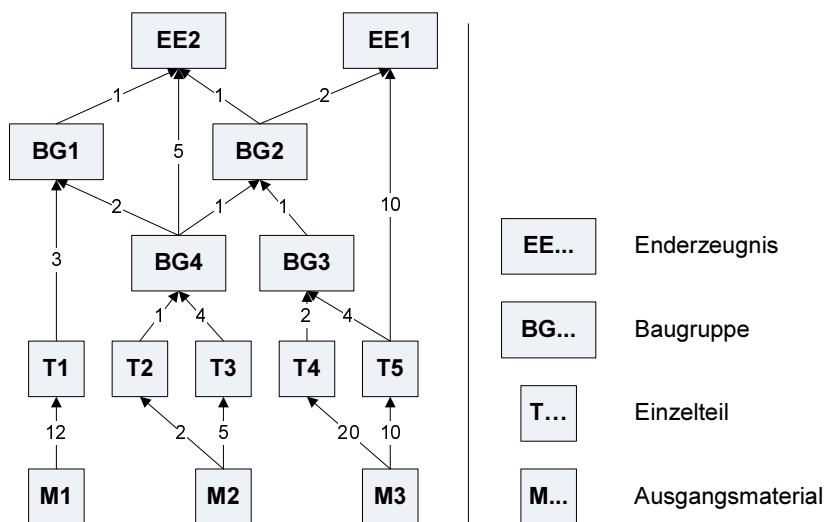


Abbildung 4.8.: Ein Beispiel für die grafische Darstellung einer Stückliste als Gozintograph

Die Einteilung der Stücklisten kann aus verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Ein Anhaltspunkt ist die Lagerverwaltung. Jedes Teil, das im Materialmanagement erfasst wird, muss auch in der Stückliste zu finden sein. Je nach Anforderung müssen Spezialisierungen wie die Variantenfertigung unterstützt werden. Die Stücklisten stellen die grösste Beschreibung des Produktionsprozesses dar. Jeder Knoten enthält alle Maßnahmen zur Fertigung eines Teiles.

Für die detaillierte Feinplanung sind kleinere Produktionsschritte als diese notwendig. Diese Schritte werden als Arbeitsgänge bezeichnet und im Arbeitsplan zusammengefasst. Der Arbeitsplan enthält alle zur Herstellung eines Teils notwendigen Informationen. Dazu zählen alle technischen Verfahren sowie die erforderlichen Ressourcen, das Personal und das Material. Dabei kann ein Teil mit Hilfe verschiedener Arbeitspläne hergestellt werden. Auch kann es mehrere mögliche Reihenfolgen der Arbeitsgänge geben. All diese Varianten sind Freiheits-

grade und helfen bei der Optimierung der späteren Planung. Im Sinne der sukzessiven Detaillierung der Produktionsplanung liegen die Arbeitspläne in unterschiedlicher Granularität vor. Während bei der frühen Planung nur Ressourcengruppen betrachtet werden, muss der Arbeitsgang später auf eine konkrete Maschine terminiert werden. Ähnlich dieser Spezialisierung von der groben Stückliste bis zum detaillierten Arbeitsplan werden einzelne Informationen in die andere Richtung verdichtet. Auf diese Weise stehen beispielsweise schon in der Stückliste geschätzte Durchlaufzeiten zur Verfügung, die für die Planung herangezogen werden können.

4.3.4. Feinplanung

Die Feinplanung ist für die stufenweise Umwandlung der Grobplanung in eine konkrete zeitliche Einordnung aller Arbeitsgänge zuständig. Diese Arbeitsgänge müssen letztlich konkreten Betriebsmitteln zugeordnet werden.

Die erste Planungsstufe ist die mittelfristige Bedarfsplanung. Diese bekommt in Form der Grobplanung Bedarfe und Fristen übergeben. Diese Bedarfe werden mit Hilfe der Stücklisten des Produktionsmanagements in Bedarfe an Baugruppen, Einzelteilen und Rohmaterialien aufgelöst. Daraus werden wiederum Fertigungsaufträge und Bestellbedarfe erstellt.

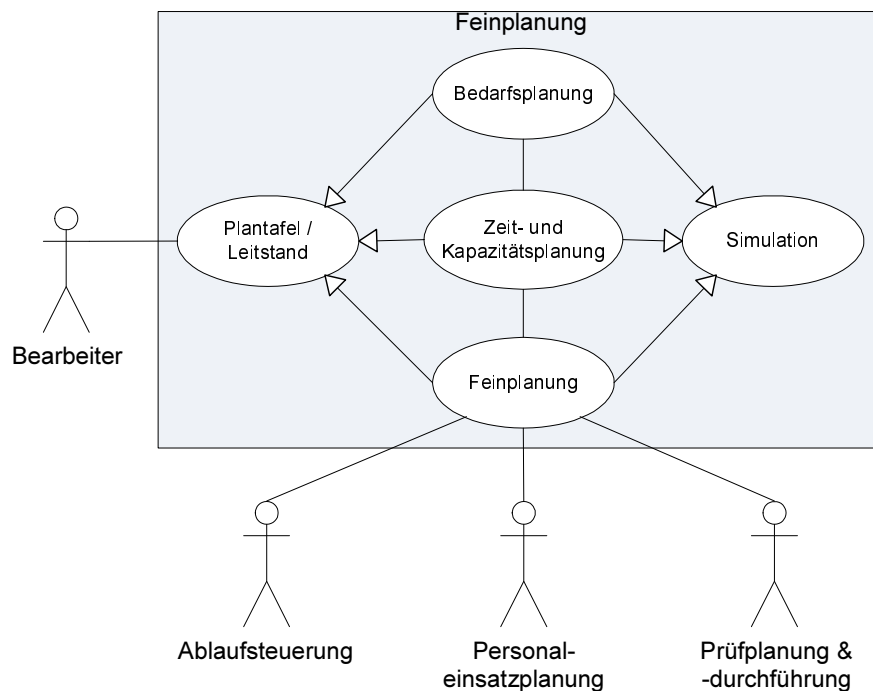


Abbildung 4.9.: Das Use-Case-Diagramm des Funktionsblocks Feinplanung

In der zweiten Stufe erfolgt die Zeit- und Kapazitätsplanung. Dabei werden die Fertigungsaufträge anhand der Arbeitspläne in ihre Arbeitsgänge unterteilt, die wiederum Ressourcen- und Qualifikationsgruppen zugeordnet werden. Auf diese Weise lässt sich die Planung weiter konkretisieren. Im Anschluss daran erfolgt ein Kapazitätsausgleich, bei dem Kapazitätsspitzen und Engpässe kompensiert werden. Am Ende der zweiten Stufe erfolgt die Auftragsfreigabe. Dabei werden die Aufträge auf die Verfügbarkeit aller Ressourcen und Materialien untersucht.

Die Freigabe stellt eine Kontrollinstanz zwischen der mittel- und kurzfristigen Planung dar.

Mit der Feinplanung beginnt die kurzfristige Disposition. In diesem Schritt werden die Arbeitsgänge der Aufträge terminiert und auf konkrete Maschinen verteilt. Außerdem werden Werkzeuge, Personal und Prüfaufgaben berücksichtigt. Aufgrund dieser Planung erfolgt im Materialmanagement anschließend die Disposition der Lager- und Transportaufträge. Die Umsetzung des erstellten Planes wird schließlich in der Ablaufsteuerung überwacht.

Unabhängig von den Planungsstufen existieren weitere Anforderungen, welche die Feinplanung erfüllen muss. Dazu zählt beispielsweise die Bereitstellung einer Plantafel. Mit diesem Werkzeug, das auch als Leitstand bezeichnet wird, sollen die Mitarbeiter die Produktion planen und die Durchführung überwachen. In diesem Zusammenhang hat sich die Darstellung der Aufträge in einem Gantt-Diagramm durchgesetzt. Neben den eigentlichen Planungsobjekten muss der Disponent mit aktuellen Produktionsinformationen unterstützt werden

Eine weitere Aufgabe der Feinplanung ist die automatische Planerstellung. Dabei müssen Algorithmen zur Umsetzung unterschiedlicher Ziele vorgesehen werden. Mögliche Ziele sind die Minimierung der Durchlaufzeit oder die Optimierung der Maschinenauslastung. Weiterhin erfolgt eine Simulation der verschiedenen Alternativpläne. Dadurch können Engpässe, Probleme und Planungskonflikte identifiziert werden. Der Disponent soll außerdem manuell in die Planung eingreifen können. Zu diesem Zweck kann er verschiedene Operationen zur Manipulation der Planungsobjekte verwenden. Beispiele dafür sind:

- Splitten: In mehrere kleinere Objekte aufteilen.
- Raffen: Gleichwertige Objekte zusammenfassen.
- Fixieren: Fixierte Objekte können nicht automatisch umgeplant werden.
- Freigeben: Teil der Planung bzw. konkrete Objekte für die nächste Planungsstufe freigegeben.

Bei Problemen sollten dem Mitarbeiter geeignete Gegenmaßnahmen zur Verfügung stehen. Beispiele dafür sind Extraschichten, Überstunden oder das Verschieben von Aufträgen auf Alternativmaschinen. Eine grobe Übersicht der Anforderungen ist in Form eines Use-Case-Diagramms in Abbildung 4.9 dargestellt.

4.3.5. Ablaufsteuerung

Die Hauptaufgabe der Ablaufsteuerung ist die Überwachung des Produktionsprozesses und der dazugehörigen Planung. Diese Aufgabe wird auf unterschiedlichen Hierarchiestufen erfüllt. Der produzierende Mitarbeiter an der Maschine benötigt dabei detaillierte Informationen zu seinem Arbeitsgang. Im Gegensatz dazu muss der Disponent einen größeren Bereich überblicken und erhält dafür verdichtete Daten. Beispielsweise sieht er die Aufträge als Ganzes mit ihrem Fortschritt und eventuellen Störungen. Generell soll definiert werden, welche Informationen auf welche Weise dargestellt werden.

Die Ablaufsteuerung ist eng mit der Feinplanung verbunden. Gravierende Abweichungen von der Planung müssen zurückgemeldet und bei der weiteren Planung beachtet werden. Zusätzlich werden die Probleme für eine spätere Analyse genau protokolliert. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass der aktuelle Produktionszustand in die Planung einfließt. Im Allgemeinen werden bei der Ausführung der Arbeitsgänge verschiedene Phasen unterschieden. Im Vorfeld müssen die Anfangsbedingungen hergestellt und geprüft werden. Darunter ist die Verfügbarkeit von Material, Personal und Werkzeug, aber auch der richtige Maschinenzustand zu verstehen. Sind diese Bedingungen erfüllt, kann der Arbeitsgang gestartet werden. Während der Produktion werden die Maschinendaten aufgenommen und die Betriebsdaten erfasst. Zur Betriebsdatenerfassung gehört beispielsweise das Starten, Beenden, Unterbrechen oder Teilrückmelden der Arbeitsgänge. Nach dem Ende des Arbeitsgangs organisiert die Ablaufsteuerung die Nacharbeiten und startet den Abtransport.

4.3.6. Analyse

Die Analyse ist ein zentraler Funktionsblock innerhalb des MES. Er soll den kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterstützen. Zu diesem Zweck müssen die Bereiche Qualität und Produktion verbunden werden, damit Symptome und Ursachen schnell in Beziehung gesetzt werden können. Nur eine enge Verzahnung aller Bereiche ermöglicht die Einrichtung reaktionsschneller Regelkreise, die es erlauben, schnell und gezielt auf Probleme zu reagieren. Die Basis dafür sind alle im MES aufgenommenen Daten. Daraus werden Berichte, Auswertungen und Analysen erstellt. Außerdem werden diverse Kennzahlen aus den Bereichen Betriebswirtschaft, Qualität und Produktion berechnet. Beispiele dafür sind:

- Schwachstellenanalysen von Maschinen und verketteten Anlagen
- Analyse der Gründe für Störungen und Stillstände
- Untersuchung von beendeten Aufträgen auf Terminverletzungen
- Mitlaufende Kostenkontrolle bzw. Nachkalkulation auf Grundlage der maschinen- und auftragsbezogenen Zeiten
- Ermittlung der Liegezeiten und Analyse der Gründe
- Statistiken für Aufträge, Artikel und Ausschussanteile
- Auftragsbezogene Auswertung der Stillstands-, Produktions- und Rüstzeiten
- Fehlerschwerpunktanalyse
- Lieferantenbewertung
- Qualitätsbasierte Auswertung der Fehler nach Art, Ort, Ursache und ähnlichen Merkmalen

- Umsetzung der Qualitätsregelkarten in unterschiedlichen Ausführungen und Untersuchung der Werte auf Trend-, Run und Middlethird

Diese Liste repräsentiert einen Ausschnitt aus den üblichen Anforderungen. Die Ergebnisse werden den betreffenden Mitarbeitern als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus können sie auch im Rahmen des Eskalationsmanagements eingesetzt werden. Die Grundlage dafür bilden neben den angeführten komplexen Analysen auch einfache Soll-Ist-Vergleiche.

Beispiele für solche Vergleichswerte sind Messwerte aus Qualitätsprüfungen oder gemessene Prozessgrößen. Das Analyseschema beginnt bei Symptomen, ermittelt daraus Ursachen und leitet Maßnahmen zur Abstellung des Problems ein. Mögliche Symptome sind negative Soll-Ist-Vergleiche oder ein Trend bei einer Qualitätsregelkarte. Daraus werden durch Verknüpfung mit Basislogikelementen Regeln erstellt, die zu den Ursachen führen. Auf diese Weise können bekannte systematische Fehler automatisch durch die Einleitung vordefinierter Maßnahmen behandelt werden. Beispielsweise könnte ein auftretender Trend bei einer Qualitätsregelkarte auf eine Werkzeugabnutzung zurückgeführt werden. Als Maßnahme wird eine Inspektion des betreffenden Werkzeuges in Auftrag gegeben. Trifft keine Regel zu, so wird ein Mitarbeiter für die Ursachenuntersuchung hinzugezogen.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Analyse ist die Chargenverfolgung. Dabei geht es einerseits um die Auflistung der Rohmaterial-Chargen eines Produktes. Andererseits sollen alle Produkte ausfindig gemacht werden, für deren Produktion Rohmaterial einer bestimmten Charge eingesetzt wurde.

Das Reklamationsmanagement vereint Elemente der Chargenverfolgung und des Eskalationsmanagements. Dabei geht es um die Fehlersuche bei mangelbehafteten Produkten.

4.3.7. Messmittelmanagement

Zur Ausführung von Qualitätsprüfungen ist der Einsatz von Messmitteln erforderlich, die durch das Messmittelmanagement verwaltet werden. Die Hauptaufgabe dabei ist die Organisation der Stamm- und Bewegungsdaten sowie die Aufzeichnung der Status der Messwerkzeuge. Diese Daten werden beispielsweise der Planung und Durchführung der Qualitätsprüfungen zur Verfügung gestellt. Ähnlich den Maschinen bei der Produktion müssen die Messmittel durch die jeweilige Prüfplanung reserviert werden. Dabei ist zu beachten, dass sie den jeweiligen Spezifikationen und Genauigkeitsanforderungen genügen.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Prüfmittelüberwachung. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die im Einsatz befindlichen Messmittel den gegebenen Anforderungen entsprechen. Zu diesem Zweck werden periodische Kalibrierungen eingeplant. Bei einer Kalibrierung wird die Abweichung der Anzeige eines Messgerätes festgestellt und dokumentiert. Beispielsweise werden Gewichte dabei mit höherwertigen Normalen verglichen. Viele der Aufgaben unterliegen gesetzlichen Bestimmungen oder Anforderungen der Norm. Diese Randbedingungen müssen ebenfalls beim Messmittelmanagement berücksichtigt werden.

4.3.8. Planung und Durchführung von Qualitätsprüfungen

Mit den Qualitätskontrollen im Unternehmen werden mehrere Ziele verfolgt. Unter anderem sollen Fehler frühzeitig erkannt und teure Nachbearbeitungen verhindert werden. Weiterhin werden die Prozesse auf ihre Beherrschbarkeit, das heißt auf ihre Vorhersagbarkeit, untersucht. In diesem Zusammenhang lassen sich Wareneingangsprüfungen, Prüfungen während der Produktion und Warenausgangsprüfungen unterscheiden. Weiterhin gibt es festen Prüfungen und zufälligen Stichproben.

Feste Prüfungen erfolgen beispielsweise immer nach einem bestimmten Arbeitsgang. Stichproben hingegen werden zufällig genommen. Beide Prüfarten müssen durch die Feinplanung berücksichtigt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Mitarbeiter nicht über bevorstehende Stichprobenprüfungen unterrichtet werden, denn dadurch würde das Ergebnis verfälscht. Generell werden die Rahmenbedingungen durch die Prüfplanung festgelegt.

Zu jeder geplanten Prüfung werden ein Prüfauftrag erstellt und die jeweiligen Messmittel reserviert. Dabei muss dieser Funktionsblock eng mit der Feinplanung zusammenarbeiten.

Weitere Aufgaben der Prüfplanung sind die Verwaltung der Prüfpläne und die Definition der Prüfmerkmale. Dazu gehört auch die Festlegung entsprechender Vergleichswerte. Der Prüfplan enthält weiterhin die Arbeitsanweisungen und die Abfolge der Prüfschritte. Auf diese Definitionen greift die Analyse zu, um die Ergebnisse nach der Prüfung zu bewerten.

4.3.9. Personalmanagement

Die Aufgabe des Personalmanagements ist das Sichern und Weiterentwickeln des menschlichen Leistungspotentials im Unternehmen. Im Kern dieses Funktionsblocks stehen die Verwaltung der Mitarbeiter und die Pflege der Stammdaten. Die Mitarbeiter melden Arbeitsbeginn und Arbeitsende sowie ihre Pausen an das System. Auf diese Weise können die Arbeitszeiten berechnet und Anwesenheitszeiten überwacht werden. Zusätzlich werden Ausbildung und Qualifikationen gespeichert. Mit diesen Informationen lassen sich Mitarbeitergruppen bilden, die zum Ausführen bestimmter Arbeitsgänge qualifiziert sind. Welche Qualifikationsstufe für den jeweiligen Arbeitsgang erforderlich ist, wird in den Arbeitsplänen definiert. Über die Auslastung der Mitarbeitergruppen lassen sich Ausbildungsmaßnahmen gezielt planen und durchführen.

Darüber hinaus sollen verschiedene Arbeitszeitmodelle für feste und flexible Arbeitszeiten unterstützt werden. In diesem Zusammenhang werden Regeln für Überstunden, Zuschläge und Ausnahmen definiert. Weiterhin sollen verschiedene Lohnarten und Lohnberechnungen sowie übliche Entlohnungsvorschriften unterstützt werden. Zu diesem Zweck werden die Arbeitszeiten auf verschiedenen Zeitkonten erfasst. Beispiele dafür sind Gleitzeit oder Vorholzeit. Unter Verwendung weiterer Informationen aus der Produktion lassen sich Leistungslohnmodelle realisieren. Die aufbereiteten Informationen werden den Mitarbeitern, Abteilungsleitern und dem Lohnbüro zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise werden Abweichungen zwischen geplanter und realer Arbeitszeit automatisch erkannt. Eine weitere Anforderung ist die Unterstützung von individuellen Zeitnachweislisten. Tätigkeiten, die nicht automatisch erfasst oder

mit einem bestimmten Auftrag in Verbindung gebracht werden können, sollen auf diese Weise aufgezeichnet werden. Neben diesen Aufgaben soll auch die Urlaubsplanung der Mitarbeiter durch das Personalmanagement realisiert werden.

Die Auslastung bestimmter Mitarbeitergruppen ist ein guter Anhaltspunkt für die mittelfristige Personalplanung. Dabei geht es auf der einen Seite um die Planung von Qualifizierungsmaßnahmen. Auf der anderen Seite werden Informationen bereitgestellt, die bei Einstellungen oder Personalabbau helfen. Die Zahlen werden dem ERP übermittelt, denn die Personalentwicklung ist Aufgabe der Unternehmensleitung.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Mitarbeitermotivation. Mit detaillierten Informationen zu Interessen, Zielen, Neigungen und Qualifikation können Weiterbildungsmaßnahmen gezielt den Mitarbeitern zugeordnet werden.

Außerdem lassen sich mit den Daten des Personalmanagements Zugangskontrollen realisieren, indem die Mitarbeiter verschiedenen Bereichen zugeordnet werden. Zur Umsetzung sind aber zusätzliche Hardwaresysteme erforderlich.

4.3.10. Personaleinsatzplanung

Neben Maschinen und Material ist das Personal eine weitere knappe Ressource im Unternehmen. Da die Lohnkosten gerade in den Industrieländern immer weiter ansteigen, ist die optimale Nutzung des vorhandenen Personals entscheidend für eine gute Produktivität. Bei der Planung werden aus diesem Grund schon frühzeitig die Qualifikationsgruppen einbezogen, um rechtzeitig Engpässe zu erkennen. Im späteren Planungsverlauf werden dann den Arbeitsgängen konkrete Mitarbeiter zugeordnet. Die Personaleinsatzplanung ist dabei eng mit der Feinplanung verbunden. Mit den Informationen werden anschließend Personaleinsatzpläne erstellt.

Eine weitere Aufgabe der Personaleinsatzplanung ist die produktionsweite Urlaubsplanung. Dadurch soll eine konstante Personalkapazität über die Zeit erreicht werden. Außerdem können Zeiten mit hoher Auslastung im Vorfeld berücksichtigt werden. Neben dieser mittelfristigen Planung werden auch Maßnahmen für kurzfristige Engpässe bereitgestellt. Beispiele dafür sind Extraschichten und Überstunden. Dabei sind aber die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die vorhandenen Arbeitszeitmodelle zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders die Überwachung der Anwesenheitszeiten eine wichtige Funktion. Hierbei sollen beispielsweise ungeplanten Fehlzeiten möglichst schnell berücksichtigt werden. Bei solchen Problemen wird zuerst versucht, die Personaleinsatzplanung mit verfügbaren Mitarbeitern aufrecht zu erhalten. Ist dies nicht möglich, muss die Feinplanung bzw. die Ablaufsteuerung informiert werden, um die Planung anzupassen.

4.3.11. Datenerfassung

Die Datenerfassung ist neben dem Informationsmanagement ein zentraler Aufgabenbereich des MES. Hier werden alle eingehenden Daten aufgenommen und vorverarbeitet. Bei dieser Vorverarbeitung handelt es sich aber nur um einfache Operationen, wie zum Beispiel defi-

nierte Regeln und Plausibilitätsprüfungen. Da es sich um eine grundlegende Funktionalität handelt, gibt es zahlreiche Überschneidungspunkte mit den beschriebenen Funktionsblöcken. Das spielt bei der Formulierung der Anforderungen aber keine zentrale Rolle. Generell gilt, dass alle Informationen, die das MES sammelt oder entgegen nimmt, in der Datenerfassung aufgenommen werden.

Eine wichtige Quelle von Informationen ist das übergeordnete ERP. Um mit herkömmlichen ERP-Systemen zusammenarbeiten zu können, muss die Datenerfassung alle üblichen Standardschnittstellen unterstützen. Beispiele für entgegengenommene Daten sind die Grobplanung und die Produktionsdefinitionen. Die Unterstützung der jeweils geeigneten Schnittstelle ist dabei wichtiger als die Definition der ausgetauschten Daten. Das liegt daran, dass die ausgetauschten Daten in hohem Maße von der Abgrenzung der beiden Systeme abhängen. Diese Aufteilung ist aber individuell von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich.

Ähnliche Aussagen können über die Automationsebene der Maschinen und Anlagen getroffen werden. Hier geht es unter anderem um Messwerte, Produktionsergebnisse und Prozessgrößen. Die Unterstützung standardisierter Schnittstellen ist auch hier die wichtigste Anforderung. Innerhalb des MES werden Daten durch Nutzerinterfaces erfasst.

Damit sind alle technischen Datenquellen beschrieben. Im Folgenden werden die anfallenden Informationen fachlich kategorisiert. In diesem Zusammenhang werden Personalzeit-, Betriebsdaten-, Maschinendaten- und Messwerterfassung unterschieden.

Unter Personalzeiterfassung ist das Protokollieren der Arbeitszeiten der Mitarbeiter zu verstehen. Es werden Arbeitsbeginn, Arbeitsende und Pausen aufgenommen. Über die beschriebenen Schnittstellen können beispielsweise Stechuhren angeschlossen werden, welche die Datenerhebung vereinfachen.

Die Maschinendatenerfassung nimmt alle Daten während der Produktion auf. Diese Informationen werden auch als Prozessdaten bezeichnet. Beispiele dafür sind Durchlaufzeiten, Rüstzeiten, Maschinenstörungen und Stillstände. Weiterhin werden für den jeweiligen Prozess interessante technische Größen aufgenommen. Darunter fallen zum Beispiel Druck, Temperatur und Drehzahl.

Die Betriebsdatenerfassung protokolliert alle Ereignisse, die für den Auftragsfortschritt, die betriebliche Kostenrechnung oder die Mitarbeiterentlohnung von Bedeutung sind. Beispielsweise werden der Materialverbrauch, die Abnutzung von Betriebsmitteln sowie die Produktionsergebnisse aufgenommen.

In der Messwerterfassung werden die Daten der Qualitätsprüfungen gespeichert. Zu diesem Zweck werden die definierten Prüfpläne verwendet. Diese enthalten unter anderem die Erfassungsart, die Messwertdefinition und Toleranzwerte für die Plausibilitätsprüfung. Beispiele für solche Prüfungen sind die Wareneingangsprüfung, Erstmusterprüfung oder die merkmalsbezogenen Zuweisung von Fehlerarten, -orten und -ursachen.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Datenerfassung ist die Verwaltung der zentralen Geschäftsobjekte. Beispiele für solche Objekte sind Auftrag, Maschine, Arbeitsgang oder Arbeitsplan. Die Strukturierung dieser Objekte und die Art der Speicherung werden hier definiert. Außerdem müssen Redundanzen kontrolliert und die referenzielle Integrität gesichert

werden. Die anderen Funktionsblöcke greifen nur noch auf die Objekte mit ihren Methoden und Attributen zu. Mit der Verwaltung der Datenbasis ist auch die Datensicherung und die Langzeitarchivierung eine Aufgabe der Datenerfassung.

4.3.12. Informationsmanagement

Das Informationsmanagement stellt im Gegensatz zur Datenerfassung für den jeweiligen Nutzer die ausgehenden Daten in geeigneter Form zur Verfügung. Eine Hauptaufgabe ist dabei die Informationsweitergabe über die Grenzen des MES hinaus. Es müssen Standardschnittstellen zur Unternehmensleitung und der Automationsebene unterstützt werden. Beispielsweise werden aus der Feinplanung Steuerbefehle für die beteiligten Maschinen abgeleitet. An das ERP dagegen werden verdichtete Produktionsergebnisse nach Auftragsabschluss gesendet.

Innerhalb des MES werden durch das Informationsmanagement die Nutzer mit den geeigneten Daten versorgt. Der einfachste Fall ist dabei die Anzeige von gespeicherten Informationen. Beispiele dafür sind errechnete Kennzahlen, Bestandsübersichten in Transporteinheiten sowie der Status von Materialbeständen, Maschinen, Aufträgen oder Arbeitsgängen. Daneben sollen komplexe Datenstrukturen visualisiert werden. Dazu zählen Analysen, Berichte und Diagramme. Einige Beispiele für solcher Daten sind:

- grafische Materialflussanalyse
- Kapazitätsgebirge
- Auflistung aller Chargen, die in einem Produkt verwendet wurden
- Schichtpläne oder Werkskalender

Weiterhin ist die kontextspezifische Zusammenstellung wichtiger Informationen eine zentrale Aufgabe. Um die Mitarbeiter mit aktuellen und geplanten Daten optimal bei ihrer Arbeit zu unterstützen, müssen je nach Bedarf die relevanten Informationen angezeigt werden. Diese Anzeigen müssen definiert und dem jeweiligen Kontext zugeordnet werden können. Beispielsweise ist die Anzeige von Arbeitsanweisungen bei der Qualitätssicherung, der aktuelle Arbeitsgangstatus und vordefinierte technische Werte bei der Produktion oder Termine und Fristen bei der Feinplanung sinnvoll. Darüber hinaus ist der Druck von Auftragsinformationen, Materiallisten oder Lohnzetteln in vielen Unternehmen von besonderem Interesse.

5. Serviceorientierte Analyse

Das fünfte Kapitel beschreibt mit der serviceorientierten Analyse die erste Phase im Softwareentwicklungsprozess (vgl. Kapitel 3.2.1.). Im Mittelpunkt dabei steht der fachliche Entwurf der Services.

Am Anfang wird zunächst das Einsatzgebiet der SOA abgegrenzt. Das erfolgt durch die Auswahl geeigneter Geschäftsprozesse, die im weiteren Verlauf auf einer Servicearchitektur abgebildet werden. Im Anschluss daran wird die Geschäftsprozessmodellierung durchgeführt. Dabei werden die Prozesse hierarchisch in Teilprozesse und Prozessschritte zerlegt. In diesem Zusammenhang wird ebenfalls das Geschäftsinformationsmodell abgeleitet, das die Geschäftsobjekte und ihre Beziehungen enthält.

Diese Schritte bilden die Grundlage für den Serviceentwurf. Zunächst werden die Prozessschritte, die die Vorlage für die Serviceoperationen bilden, weiter verfeinert. Anschließend erfolgt zur Serviceerstellung eine Gruppierung dieser Schritte um die Geschäftsobjekte. Auf diese Weise werden erste Servicekandidaten entworfen. Die weiteren Arbeitsschritte der Analyse vervollständigen und generalisieren diese Kandidaten. Zu diesem Zweck werden alternative Prozessabläufe, potentielle Nutzer und der Zustandsautomat der Geschäftsobjekte untersucht. Weiterhin erfolgt die Anwendung relevanter SOA-Prinzipien. Im Anschluss daran werden die entstanden fachlichen Servicekandidaten detailliert beschrieben. Außerdem werden ihre Schnittstellen entwickelt.

Am Ende dieses Kapitels werden die Entwurfsmethode und die erstellten Servicekandidaten auf die Umsetzung der in Kapitel 2 abgeleiteten Architekturziele hin untersucht. Damit wird die Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES belegt.

5.1. Abgrenzung des Einsatzbereiches

Die Anforderungsanalyse ermöglicht einen guten Überblick über den vollständigen Funktionsumfang eines MES. Für die Eignungsuntersuchung genügt es, einen Teil des MES exemplarisch serviceorientiert umzusetzen. Die Untersuchung der MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur aus Kapitel 2 ergab, dass die fachliche Orientierung ein wesentliches Architekturziel ist. Aus diesem Ziel folgt, dass eine SOA durch Zerlegung der Geschäftsprozesse entstehen sollte. Daher wird das betrachtete Einsatzgebiet durch einen Prozess und nicht etwa durch eine Funktionsgruppe bestimmt. Um dennoch eine gute Aussage über die beschriebene Eignung treffen zu können, sollte der betrachtete Prozess möglichst Funktionen vieler Funktionsblöcke nutzen. Aus diesem Grund wird die Wertschöpfungskette, die innerhalb der Grenzen des MES auch Produktionsprozess genannt wird, als Vorlage für die serviceorientierte Analyse dienen.

Im nächsten Abschnitt erfolgt die Modellierung dieses Geschäftsprozesses.

5.2. Geschäftsprozessmodellierung des Produktionsprozesses

Die Wertschöpfungskette wird auf Unternehmensebene durch einen Kundenauftrag ausgelöst und mit der Lieferung beziehungsweise der Bezahlung abgeschlossen (siehe Abbildung 2.1 und 2.3). Der Produktionsprozess repräsentiert innerhalb des MES diese Leistungserbringung. Die serviceorientierte Analyse wird anhand dieses Prozesses exemplarisch durchgeführt und erläutert. Am Anfang wird der Geschäftsprozess modelliert. Zu diesem Zweck wird die Domänenanalyse (vgl. Kapitel 3.5.2.) angepasst. Der Geschäftsprozess wird anhand seiner Aufgaben hierarchisch zerlegt. Auf diese Weise sollen Geschäftsfunktionen gleicher Größe identifiziert und verschiedene Abstraktionsebenen gebildet werden. Weiterhin lassen sich so bereits mögliche Kombinationsmöglichkeiten der späteren Services dokumentieren. Im Folgenden wird der Prozess zunächst als Black Box von außen betrachtet.

5.2.1. Betrachtung des Produktionsprozesses von außen

In der ersten Abstraktionsebene wird der Prozess als Ganzes beschrieben, indem ein- und ausgehende Daten sowie die Hauptaufgaben betrachtet werden. Diese Betrachtungsweise wurde bereits in Kapitel 2.1.5. vermittelt und soll nun konkretisiert werden. Die Kundenaufträge werden im ERP entgegengenommen und in eine Grobplanung umgewandelt. Diese periodisch an das MES übergebene Planung ist der Ausgangspunkt des Produktionsprozesses, denn damit wird die Produktion geplant und durchgeführt. Neben diesem Normalfall kann es zu Planänderungen kommen. Diese müssen im MES entgegengenommen und entsprechend berücksichtigt werden. ([45], [8], [19], [21], [48])

Aus den Planungsdaten werden konkrete Steuerbefehle für die Maschinen und Anlagen der Automationsschicht erstellt. Dabei handelt es sich beispielsweise um prozessspezifische Einstellungen, NC-Programme oder Arbeitsabläufe. Während und nach der Produktion wird eine Vielzahl von Prozessdaten im MES entgegengenommen. Das kann automatisch über Schnittstellen oder manuell über Nutzerinterfaces erfolgen. Bei Maschinenstörungen und sonstigen Problemen, die den weiteren Produktionsverlauf behindern, erfolgt ebenfalls eine Benachrichtigung. Diese Ereignisse müssen in der weiteren Planung berücksichtigt werden. Kommt es zu einem Planungskonflikt mit der Grobplanung, muss dieser an das ERP gemeldet werden. Die Prozessdaten und Produktionsergebnisse werden verdichtet und anschließend an das ERP übergeben. Dadurch werden beispielsweise die Lieferung und die Rechnungslegung angestoßen. Weiterhin kann damit die Grobplanung kontrolliert und verfeinert werden. Damit wird der größte Regelkreis in der Produktionsplanung geschlossen. Diese ganzheitliche Betrachtung des Produktionsprozesses ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Die beschriebenen Daten sind nicht die einzigen, die zwischen MES und ERP ausgetauscht werden. Beispielsweise stellt das ERP Stücklisten und Arbeitspläne des Produktionsmanagements bereit, während das MES Daten bezüglich Arbeitszeiten und Prämien an die Lohn-

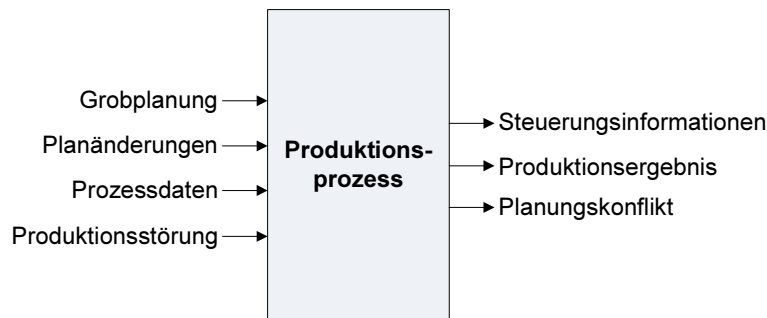


Abbildung 5.1.: Der Produktionsprozess mit seinen aus- und eingehenden Informationen

buchhaltung übergibt. Diese Informationen sind aber nur indirekt mit dem Produktionsprozess verbunden und spielen in der Geschäftsprozessmodellierung keine Rolle.

5.2.2. Beschreibung der internen Abläufe des Produktionsprozesses

Die nächste Abstraktionsebene beschreibt, wie die Aufgaben des Produktionsprozesses intern erfüllt werden. Dabei soll speziell die stufenweise Verfeinerung der Planung berücksichtigt werden. Ausgangspunkt ist die Grobplanung. Diese enthält Mengen von Enderzeugnissen oder für den Verkauf freigegebene Baugruppen und deren Lieferfristen. Auf dieser Grundlage erfolgt die Bedarfsplanung. Dabei wird der Bedarf an Erzeugnissen in Einzelbedarfe an Material, Einzelteilen und Baugruppen umgewandelt. Dieser Vorgang wird Bedarfsauflösung genannt und die dazu notwendigen Informationen sind in den Stücklisten gespeichert (siehe Abbildung 4.8). Aus den aktuellen Lagerbeständen und den Materialstatus werden Bedarfe ermittelt. Daraus erstellt die Bedarfsplanung sowohl die Fertigungsaufträge für Teile, die produziert werden müssen, als auch die Beschaffungsaufträge für Ausgangsmaterial und zugekaufte Teile. Zur Optimierung können dabei verschiedene Fertigungsaufträge desselben Teils zusammengefasst werden. Abschließend werden die benötigten Materialien für ihren geplanten Einsatz reserviert. Das betrifft auch Teile, die noch nicht physisch im Lager sind. Ergebnis der Bedarfsplanung sind terminierte Fertigungsaufträge, die an die Zeit- und Kapazitätsplanung übergeben werden. Werden bei der Zeitplanung Fristverletzungen festgestellt, die nicht behoben werden können, meldet das MES die Konflikte an das ERP zurück. Jede Planungsstufe darf nur innerhalb der Vorgaben der vorangegangenen Instanz frei planen. ([45], [8], [19], [21], [48])

Die Produktion eines Teiles erfolgt in der Regel durch mehrere Arbeitsgänge, die in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden. Die Aufgabe der Zeit- und Kapazitätsplanung ist es dabei, den Fertigungsaufträgen die Arbeitsgänge zuzuordnen. Die dafür notwendigen Informationen sind in den Arbeitsplänen gespeichert. Dabei sind die notwendigen Arbeitsgänge mit möglichen Reihenfolgen gespeichert. Während die Bedarfsplanung die durchschnittliche Durchlaufzeit der Teile zur Terminierung nutzt, können die Zeiten nun auf die einzelnen Arbeitsgänge heruntergebrochen werden. Für die einzelnen Arbeitsgänge werden Maschinen-, Werkzeug- und Personalgruppen eingeplant und reserviert. Zu diesem Zweck werden die entsprechenden Statusinformationen verwendet. Die Planungsobjekte werden zusammenfassend

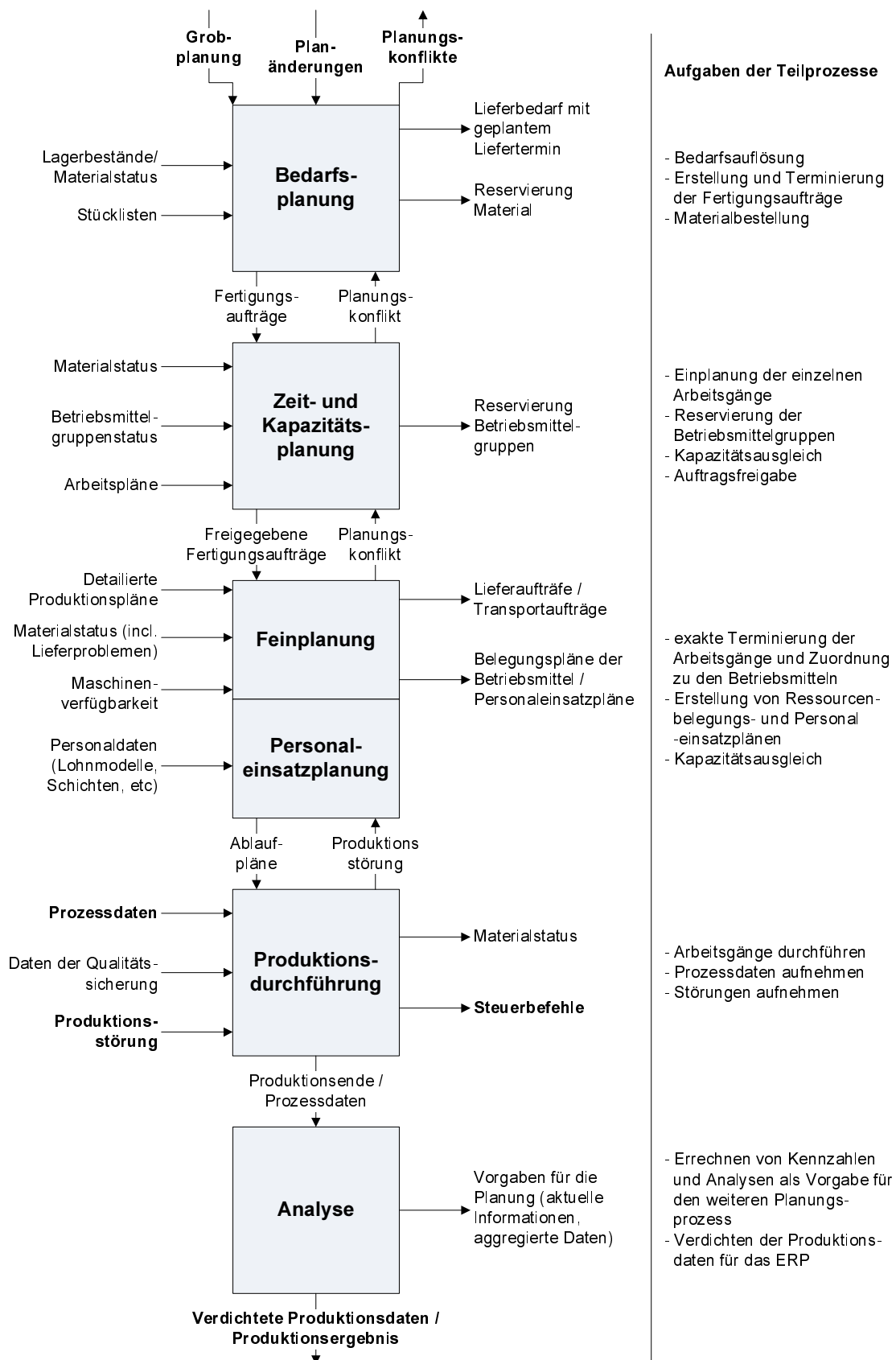


Abbildung 5.2.: Die einzelnen Teilprozesse des Produktionsprozesses

auch als Betriebsmittelgruppen bezeichnet. Abschließend erfolgt ein Kapazitätsausgleich, bei dem Kapazitätsspitzen und Engpässe bei den Reservierungen ausgeglichen werden.

Der Übergang zur nächsten Planungsebene erfolgt durch Freigabe der verplanten Fertigungsaufträge. Das geschieht in der Regel periodisch für einen bestimmten Zeitraum. Meist handelt es sich dabei um wenige Schichten, für die eine Verfügbarkeitsprüfung nach dem Vorsichtsprinzip durchgeführt wird. Zu diesem Zweck werden Informationen über die Verfügbarkeit der Betriebsmittelgruppen benötigt. Nur wenn alle Voraussetzungen für einen Fertigungsauftrag erfüllt sind, wird er zur Feinplanung freigegeben.

Die Feinplanung ist die letzte und detailreichste Planungsstufe. Dabei werden konkrete Betriebsmittel eingeplant. Dieser Vorgang ist eng mit der Personalplanung verbunden. Unter Zuhilfenahme von verschiedenen Betriebsmittelinformationen und den Materialstatus werden Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzpläne erstellt. Außerdem erfolgt die Reservierung der Werkzeuge. Die Planung kann auf verschiedene Ziele hin optimiert werden. Beispiele für solche Ziele sind Minimierung der Durchlaufzeit oder Maximierung der Maschinenauslastung. Nach der erfolgreichen Planung werden für Werkzeuge und Material Liefer- und Transportaufträge angelegt. Die erstellten Pläne werden im Anschluss an die Produktionsdurchführung übergeben.

Im Verlauf der Produktionsdurchführung werden die entsprechenden Arbeitsgänge gestartet, überwacht, dokumentiert und abgeschlossen. Damit wird die erstellte Planung umgesetzt. Vor Beginn der Produktion werden Steuerbefehle erstellt und an die Automationsebene weitergegeben. Während der Durchführung nimmt das MES Maschinen- und Betriebsdaten entgegen und speichert sie entsprechend ab. Welche Daten dabei aus welcher Quelle stammen, wird im Produktionsmanagement definiert. Kommt es während der Produktion zu einer Störung, die den Produktionsplan signifikant beeinflusst, wird diese an die Feinplanung zurückgegeben. Solche Ereignisse müssen bei der weiteren Planung entsprechend berücksichtigt werden.

Im Teilprozess Analyse werden die aufgenommenen Prozessdaten in Echtzeit weiterverarbeitet. Die Ergebnisse beeinflussen den weiteren Planungsverlauf. Beispielsweise können so aktuelle durchschnittliche Durchlaufzeiten in der Bedarfsplanung verwendet werden. Im Bezug auf den Produktionsprozess ist im Wesentlichen die Berechnung des Produktionsergebnisses relevant, das an das ERP übergeben wird.

Der gesamte Ablauf ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Daten, die dabei über die Grenze des MES hinaus ausgetauscht werden, sind fett gedruckt. Nachdem der Ablauf erläutert wurde, sollen im Folgenden die einzelnen Teilprozesse genauer beschrieben werden.

5.2.3. Beschreibung der einzelnen Teilprozesse

Im letzten Abschnitt wurde erläutert, dass der Produktionsprozess intern durch die Abfolge von fünf Teilprozessen realisiert wird. Nachfolgend wird die nächste Hierarchieebene beschrieben. Dabei wird auf die internen Abläufe der einzelnen Teilprozesse eingegangen. Es werden die verschiedenen Prozessschritte identifiziert, die für die Funktionserbringung notwendig sind. Diese Schritte werden später während der serviceorientierten Analyse in möglichst feingranula-

re Geschäftsfunktionen zerlegt. Auf Grundlage dieser Funktionen erfolgt danach die Ableitung der Services.

Bevor auf die einzelnen Teilprozesse eingegangen wird, soll der Normalverlauf des Produktionsprozesses erneut betrachtet werden. Bei diesem Verlauf werden Fehler und Planungskonflikte nicht berücksichtigt. Er dient dem Überblick über den Gesamtablauf und der Einordnung der einzelnen Teilprozesse. Aus diesem Grund wird er genau wie die internen Abläufe der Teilprozesse als UML-Aktivitätsdiagramm grafisch dargestellt. Dieses Diagramm ist in Abbildung 5.3 zu sehen. Dabei wird erneut der Bezug zu den drei Schichten der Softwarelandschaft hergestellt.

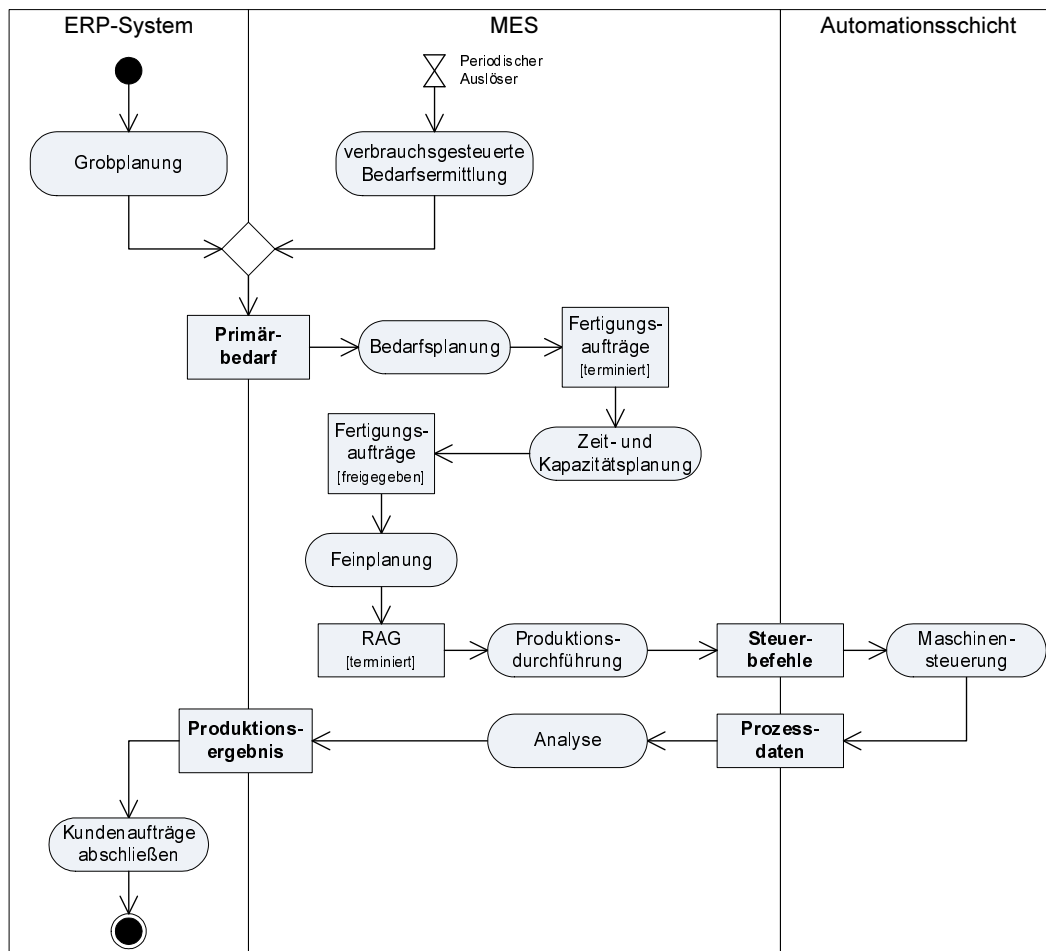


Abbildung 5.3.: Die Teilprozesse des Produktionsprozesses als Aktivitätsdiagramm

Der Ausgangspunkt des Produktionsprozesses im MES sind die Primärbedarfe. Ein Bedarf besteht jeweils aus einer Menge von Teilen und einem zugeordneten Liefertermin. Die Produktionsplanung innerhalb des MES hat die Aufgabe, diese Fristen durchzusetzen. Einerseits werden die Primärbedarfe vom ERP durch die Grobplanung zur Verfügung gestellt. Auf der anderen Seite werden sie durch die sogenannte verbrauchsgesteuerte Bedarfsermittlung innerhalb des MES erzeugt. Diese Funktion soll an dieser Stelle erläutert werden, da sie zu keinem der fünf Teilprozesse gehört.

Die verbrauchsgesteuerte Bedarfsermittlung berechnet den Bedarf an Verbrauchsteilen,

die im Unternehmen hergestellt werden. Bei der Betrachtung der produzierten Teile machen in der Regel wenige Erzeugnisse den größten Anteil aus. Dabei handelt es sich zumeist um Einzelteile, die in größeren Mengen in den Enderzeugnisse enthalten sind. Beispiele dafür sind Schrauben oder Unterlegscheiben. Diese Teile haben im Vergleich zu den Enderzeugnissen einen deutlich kleineren wirtschaftlichen Wert. Sie werden nach ihrem periodischen Verbrauch gefertigt. Dabei wird über den Planungszeitraum der Verbrauch geschätzt oder aus historischen Werten errechnet. Es ist aber zu beachten, dass diese Teile nicht während der Bedarfsplanung erneut berücksichtigt werden.

Bedarfsplanung

Die Bedarfsplanung bekommt den Primärbedarf übergeben, der am Anfang des Prozesses als Bruttobedarf bezeichnet wird. Als Erstes wird der Bruttobedarf in den Nettobedarf umgerechnet. Zunächst wird der Bruttobedarf um den sogenannten Zusatzbedarf erhöht. Dabei handelt es sich um einen prozentualen Wert, der den Produktionsausschuss und den Verlust durch Qualitätsprüfungen ausgleicht. Der neue Gesamtbedarf wird mithilfe der Brutto-Netto-Rechnung in den Nettobedarf überführt. Zu diesem Zweck werden die nutzbaren Lagerbestände zu dem benötigten Zeitpunkt simuliert und vom Gesamtbedarf abgezogen. Die Berechnung berücksichtigt real vorhandene Teile, aber auch geplante Zu- und Abgänge. Beispiele dafür sind Bestellungen und Reservierungen. Dabei ist zu beachten, dass für jedes Teil eine definierbare Puffermenge für Notfälle im Lager verbleiben muss. Der Nettobedarf umfasst schließlich die tatsächlich zu produzierenden Mengen. Diese werden in Fertigungsaufträge umgewandelt. ([45], [19])

Zur Optimierung können verschiedene Aufträge, die ein bestimmtes Teil betreffen, bei der Losbildung zusammengefasst werden. Auf diese Weise werden beispielsweise die Rüstkosten reduziert. Dabei muss aber die Beziehung zu den Bedarfen erhalten bleiben. Nur so ist später ersichtlich, welcher Anteil eines Loses zeitkritisch ist. Die Fertigungsaufträge werden anschließend durch Rückwärtsterminierung anhand durchschnittlicher Durchlaufzeiten eingeplant. Währenddessen werden auftretende Planungskonflikte identifiziert. Zum Teil können diese Konflikte durch eine erneute Losbildung aufgelöst werden. Führt das nicht zum Erfolg, wird der Konflikt an das ERP übergeben. Nach dieser Terminierung wird der Sekundärbedarf ermittelt. Er umfasst die für die Produktion der einzelnen Fertigungsaufträge erforderlichen Teile. Die notwendigen Informationen dazu sind in den Stücklisten enthalten. Die Sekundärbedarfe werden entweder in Bestellbedarfe für Ausgangsmaterial umgewandelt oder mit der Brutto-Netto-Rechnung weiter aufgelöst. Der beschriebene Ablauf, der in der Regel automatisch abläuft, ist zur Veranschaulichung in Abbildung 5.4 dargestellt.

Zeit- und Kapazitätsplanung

Die Zeit- und Kapazitätsplanung ergänzt die Fertigungsaufträge der Bedarfsplanung mit den notwendigen Arbeitsgängen. Diese werden unter Berücksichtigung der Betriebsmittelgruppen terminiert. Dadurch wird die Planung weiter verfeinert.

Zunächst werden die Fertigungsaufträge ergänzt. Die Arbeitspläne enthalten die notwen-

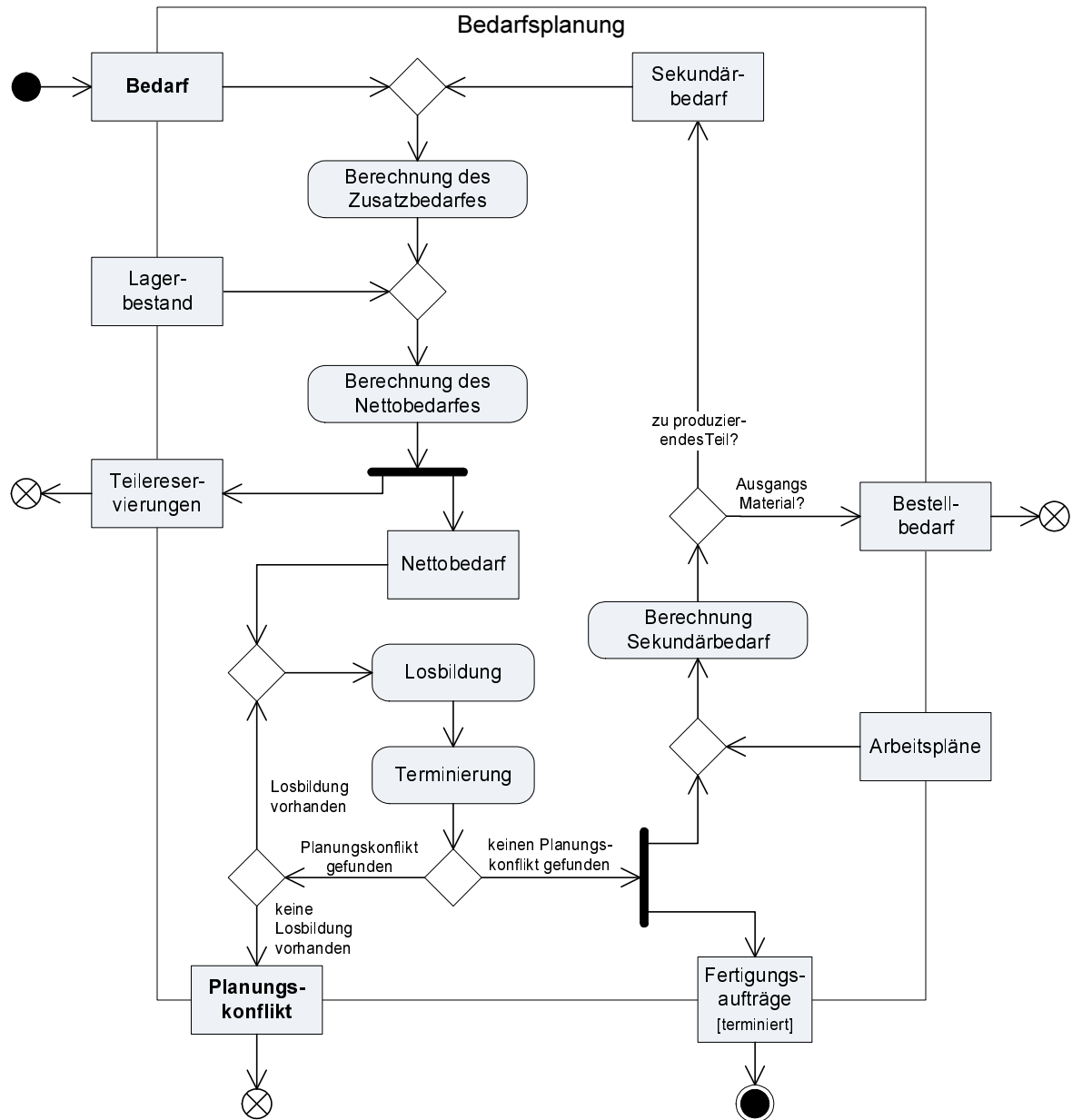


Abbildung 5.4.: Die Abläufe bei der Bedarfsplanung

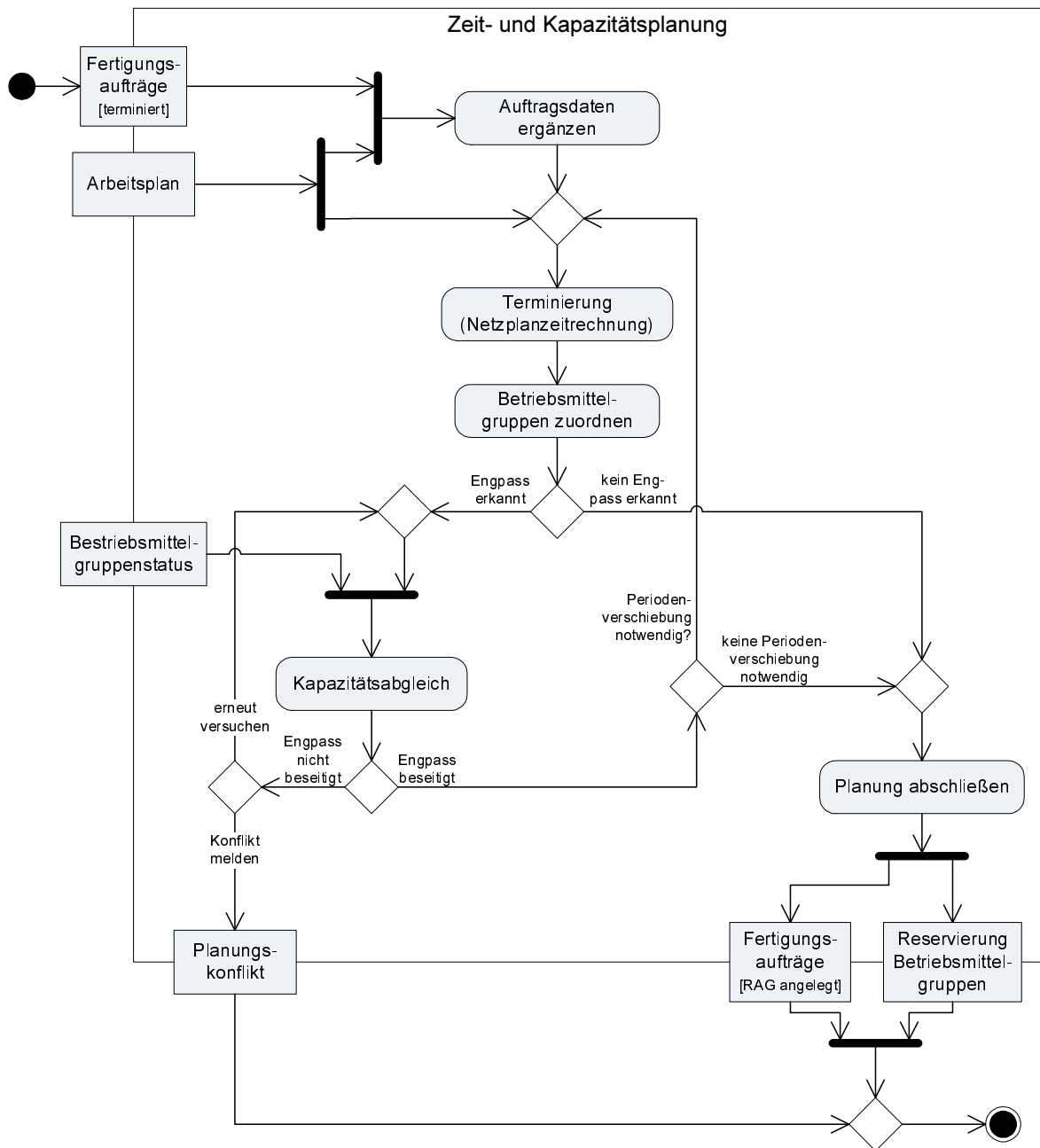


Abbildung 5.5.: Die Abläufe bei der Zeit- und Kapazitätsplanung

digen Informationen über die für die Produktion erforderlichen Arbeitsgänge und mögliche Reihenfolgen. Danach erfolgt die genaue Terminierung der Aufträge. Während bei der Bedarfsplanung noch die durchschnittlichen Durchlaufzeiten zur Planung genutzt wurden, können nun die Zeiten der einzelnen Arbeitsgänge berücksichtigt werden. Die Planung besteht jeweils aus mengenabhängigen Bearbeitungszeiten und definierten Zeitpuffern. Durch diese sogenannte Netzplanzeitrechnung lassen sich für jeden Arbeitsgang frühester Beginn und spätestes Ende ermitteln. Diese Spanne dient später bei der Feinplanung als zusätzlicher Freiheitsgrad. Außerdem werden während der Planung Konflikte zwischen benachbarten Arbeitsgängen identifiziert. Bei Problemen können die Pufferzeiten nach festen Regeln gekürzt werden. ([45], [8], [19], [21])

Nach der Terminierung erfolgt die Zuordnung der Arbeitsgänge zu Betriebsmittelgruppen. Dabei wird im Arbeitsplan definiert, welche Betriebsmittelgruppen benötigt werden. Im Anschluss daran erfolgt die Reservierung der Gruppen. Dadurch können für jede Gruppe Auslastungsgebirge über den verplanten Zeitraum erstellt werden. Diese Gebirge werden danach auf Engpässe hin untersucht. Zu diesem Zweck lassen sich für jede Gruppe prozentuale Auslastungsgrenzen definieren.

Wird ein Engpass festgestellt, muss der Kapazitätsabgleich durchgeführt werden. Durch dieses halbautomatische Verfahren erfolgt eine Glättung des Auslastungsgebirges. Es werden Kapazitätsspitzen und Engpässe ausgeglichen. Sind danach immer noch Engpässe vorhanden, können weitere Maßnahmen veranlasst werden. Beispiele dafür sind Sonderschichten, Überstunden sowie Arbeitsgangverlagerung auf alternative Maschinengruppen oder andere Perioden. Wird ein Arbeitsgang zeitlich verschoben, muss dies bei der Terminierung berücksichtigt werden. Der gesamte Ablauf ist in Abbildung 5.5 dargestellt.

Dem Disponenten stehen während der Zeit- und Kapazitätsplanung verschiedene Algorithmen zur Verfügung. Beispielsweise kann der automatische Kapazitätsabgleich prioritätsgesteuert durchgeführt werden.

Die Feinplanung wird durch die Auftragsfreigabe periodisch mit Aufträgen versorgt. Damit wird der Prozess der Zeit- und Kapazitätsplanung abgeschlossen. Während der Freigabe wird zunächst der Auftragsvorrat untersucht. Es kommen nur die Aufträge in Frage, deren Starttermin im definierten Freigabezeitraum liegt. Die gefundenen Aufträge werden nach Dringlichkeit sortiert. Auf diese Weise werden die knappen Betriebsmittel optimal verteilt. Im Anschluss daran werden die Aufträge nacheinander auf ihre Freigabemöglichkeit überprüft. Dabei werden die Verfügbarkeiten aller benötigten Betriebsmittelgruppen untersucht. Es wird zwischen statischer und dynamischer Verfügbarkeitsprüfung unterschieden. Die Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Prüfung des Materials. Bei der statischen Prüfung werden nur die Materialien betrachtet, die zum Freigabezeitpunkt im Lager verfügbar sind. Dagegen werden bei der dynamischen Prüfung auch geplante Zugänge berücksichtigt. Wird beispielsweise im Freigabezeitraum ein Teil fertiggestellt, so kann es noch im selben Zeitraum für einen weiteren Auftrag verwendet werden.

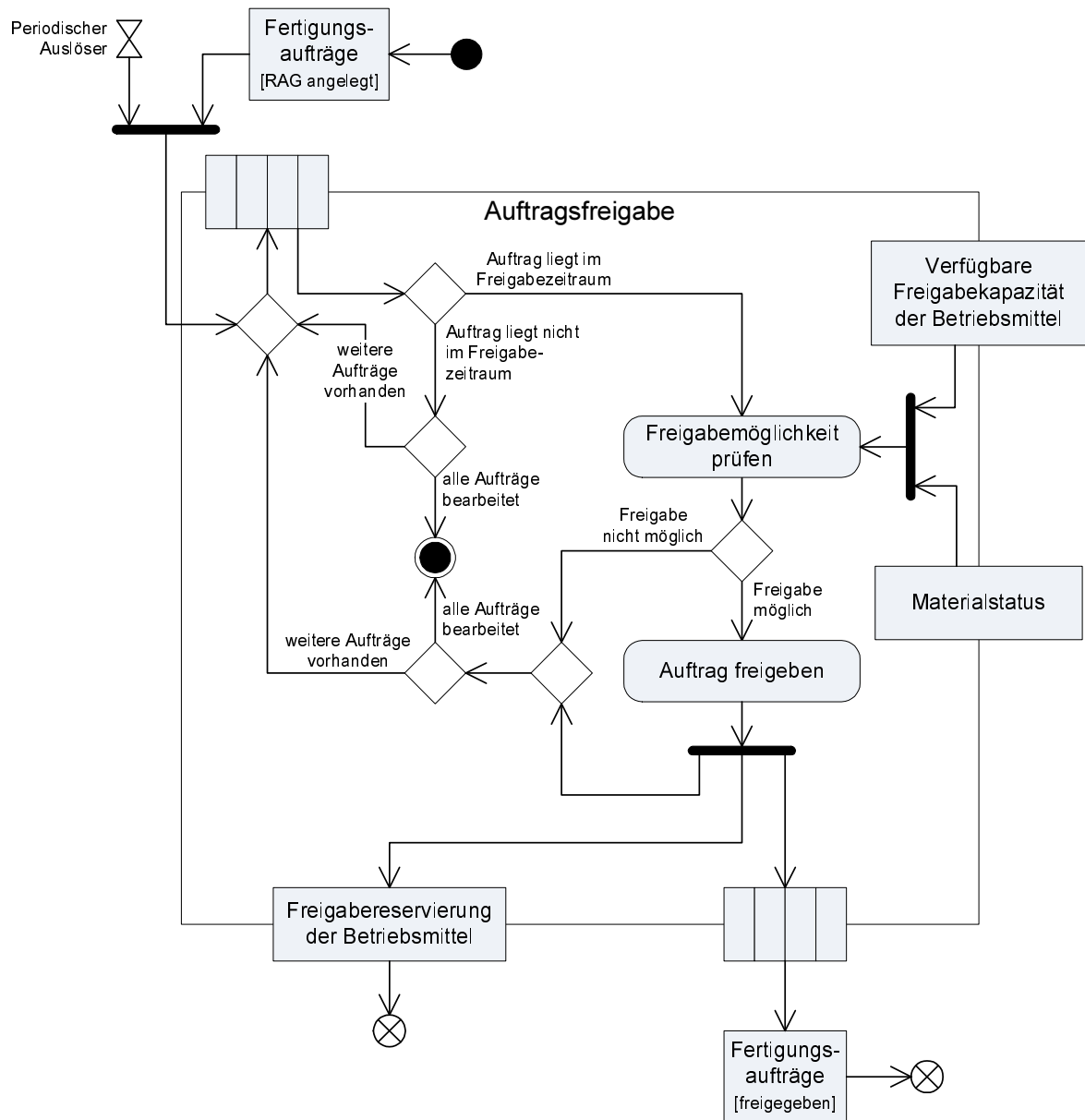


Abbildung 5.6.: Die Abläufe bei der Auftragsfreigabe

Mit der Freigabe erfolgt die explizite Reservierung der Betriebsmittelgruppen. Dabei wird beispielsweise die zur Verfügung stehende Arbeitszeit einer Maschinengruppe sukzessive verkürzt.

Die Auftragsfreigabe erfolgt halbautomatisch. Der Disponent kann einen Auftrag trotz fehlgeschlagener Verfügbarkeitsprüfung freigeben, denn bei der Feinplanung stehen weitere Optimierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Beispielsweise können Überstunden angesetzt oder Alternativmaschinen benutzt werden. Das kann insbesondere bei lukrativen Eilaufträgen notwendig sein, die nicht durch die vorangegangenen Planungsstufen berücksichtigt wurden.

Wird ein Auftrag nicht freigegeben, muss sein Starttermin auf den folgenden Freigabezeitraum verschoben werden. Nur so wird er im nächsten Zyklus wieder berücksichtigt.

Während der Feinplanung werden einzelne Maschinen betrachtet. Um die Komplexität zu bewältigen, wird ein Unternehmen in der Regel in mehrere Feinplanungsinstanzen aufgeteilt. Diese Aufteilung erfolgt auf Werks- oder Werksbereichsebene. Bevor die Feinplanung beginnen kann, müssen demnach die freigegebenen Aufträge auf die Instanzen verteilt werden. Der Ablauf der Freigabe ist in Abbildung 5.6 dargestellt.

Feinplanung

Wie schon beschrieben, versorgt die Auftragsfreigabe die Feinplanung periodisch mit Aufträgen. Je größer der Freigabezeitraum ist und je mehr Aufträge übergeben werden, desto größer ist der Planungsfreiraum. Bei einer sehr kurzen Zeitspanne besteht keine Möglichkeit, Planungskonflikte innerhalb der Feinplanung zu lösen. Andererseits wird bei sehr vielen freigegebenen Aufträgen ein großer Teil der Planungshoheit in die Feinplanung verlagert. Die Wichtung der Feinplanung im Produktionsprozess wird also hauptsächlich durch die Wahl einer geeigneten Freigabestrategie bestimmt. ([45], [8], [19], [21], [48])

Während der Feinplanung wird spezifiziert, in welcher Reihenfolge die Teile fertiggestellt werden und wann welcher Arbeitsgang durchzuführen ist. Weiterhin werden technische und organisatorische Randbedingungen beachtet. Beispielsweise berücksichtigt die Planung die Transportdauer von Teilen und die Pausenzeiten der Mitarbeiter. In Zusammenarbeit mit der Personaleinsatzplanung können Mitarbeiter, die für mehrere Arbeitsgänge qualifiziert sind, entsprechend zugeteilt werden.

Generell sind während der Feinplanung folgende Probleme zu lösen:

- Mengenproblem: Festlegung der Los- und Chargengrößen
- Terminproblem: Wann wird welcher Arbeitsgang bearbeitet?
- Zuordnungsproblem: Zuordnung der knappen Ressourcen zu den Arbeitsgängen. Darunter zählen unter anderem Mitarbeiter, Werkzeuge und Maschinen
- Reihenfolgeproblem: In welcher Reihenfolge werden die Aufträge an den Maschinen bearbeitet?

Grundlage der Feinplanung sind detaillierte Arbeitspläne des Produktionsmanagements und die Ergebnisse vorangegangener Planungsstufen. Die bestehenden Freiheitsgrade ermöglichen

den notwendigen Handlungsspielraum. Beispielsweise kann die Ausführungsdauer eines Arbeitsganges beliebig zwischen frühestem Beginn und spätestem Ende verschoben werden. Grundsätzlich können mit der Feinplanung unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Beispiele dafür sind:

- Durchschnittliche Durchlaufzeit der Aufträge minimieren
- Auslastung der Ressourcen oder der Mitarbeiter maximieren
- Terminüberschreitungen vermeiden bzw. begrenzen
- Umrüstkosten minimieren
- Umlaufvermögen des Unternehmens minimieren
- Materialausnutzung maximieren

Durch die vielen Variablen entstehen unzählige Kombinationsmöglichkeiten. Hinzu kommt, dass die Ziele teilweise gegensätzlich sind und je nach Unternehmensstrategie gewichtet werden müssen. Dieses komplexe Optimierungsproblem kann nicht in einer akzeptablen Zeit vollständig gelöst werden. Aus diesem Grund kommen in der Praxis heuristische Verfahren zum Einsatz, die für die Aufträge in der Warteschlange jeder Maschine Prioritäten bestimmen. Bei den folgenden Beispielen handelt es sich um gebräuchliche Algorithmen.

- Kürzeste- / Längste-Operationszeit-Regel (KOZ): Aufträge mit der kürzesten / längsten Bearbeitungszeit erhalten die höchste Priorität
- Lieferterminregel: Aufträge werden bevorzugt, bei denen der geplante Liefertermin am nächsten liegt.
- Geringster-Schlupf-Regel: Bei dieser Regel wird der Auftrag mit dem geringsten Schlupf priorisiert. Der Schlupf repräsentiert dabei die verbleibende Zeit bis zum geplanten Ende eines Auftrages, von der die notwendigen Bearbeitungszeiten der Arbeitsgänge und die Mindesttransportzeiten dazwischen abgezogen werden.
- Geringste Umrüstkosten: Es wird die Reihenfolge gewählt, bei der die geringsten Rüstkosten entstehen.
- Weitere Regeln: Fifo (First in - First Out), Externe Priorität

Jeder der Algorithmen unterstützt bestimmte Ziele. Beispielsweise wirkt sich die KOZ-Regel positiv auf die Kapazitätsauslastung und die Durchlaufzeiten aus, während sie die Termintreue verschlechtert. Die Geringster-Schlupf-Regel wiederum verbessert die Termintreue und erhöht die Durchlaufzeiten. In der Praxis werden daher je nach Ausgangslage verschiedene Methoden kombiniert. Um die gewünschten Ergebnisse tatsächlich zu erzielen, muss die Reihenfolgedisziplin überwacht und kontrolliert werden.

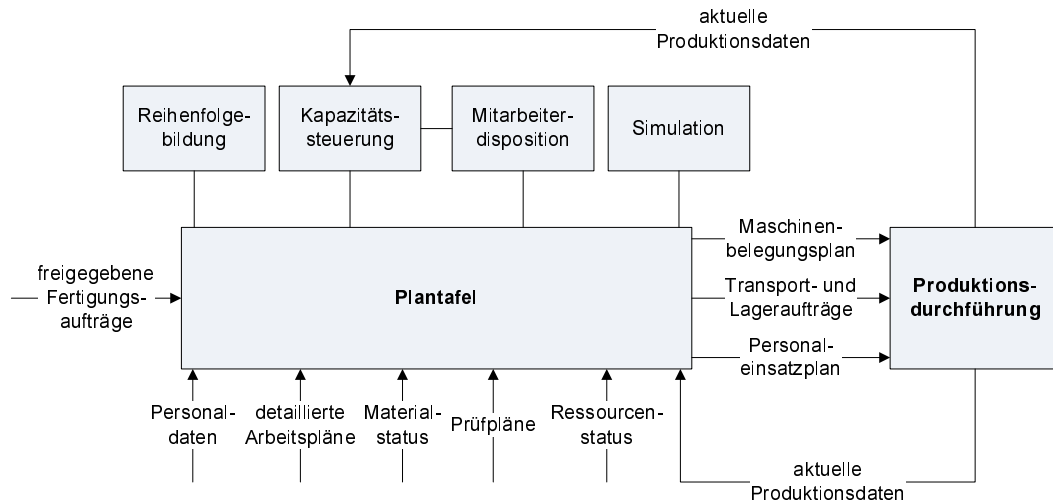


Abbildung 5.7.: Die Abläufe bei der Feinplanung

Mit diesen Ausführungen wird der periodische Prozess der Neuplanung abgeschlossen. Bei der Produktionsdurchführung weicht aber der Ressourceneinsatz oft von der Planung ab. Das kann bei Rückständen, schwankender Nachfrage oder lukrativen Eilaufträgen passieren. Die erforderlichen Umplanungen aufgrund dieser stochastischen Ereignisse kommen im betrieblichen Alltag häufig vor. Die Kapazitätssteuerung soll diesen Planungsabweichungen entgegenwirken. Sie ist damit eine weitere wichtige Aufgabe der Feinplanung.

Der Disponent kann diesen Planungsabweichungen auf unterschiedliche Weise begegnen. Für die kurzfristige Feinplanung liegen die wichtigsten Maßnahmen im Bereich Personal. Flexible Arbeitszeiten und für mehrere Arbeitsgänge qualifizierte Mitarbeiter bieten gute Handlungsoptionen. Aus diesem Grund sind die Definition der Arbeitszeiten und die Personaleinteilung Teilaufgaben der Kapazitätssteuerung. Beispiele für Maßnahmen sind Überstunden, Wochenendschichten, aber auch der Einsatz alternativer Maschinen und Werkzeuge.

Grundsätzlich sind verschiedene Varianten der Kapazitätssteuerung denkbar. An dieser Stelle sollen zwei beispielhaft vorgestellt werden. Die erste Möglichkeit ist die sogenannte Rückstandsregelung. Dabei wird der Rückstand der Fertigung auf die Planung ermittelt. Überschreitet der Wert eine bestimmte Grenze, werden Dauer und Betrag der Kapazitätsänderung bestimmt, die zum Ausgleichen des Rückstandes notwendig sind. Daraus können im Anschluss automatisch oder manuell geeignete Maßnahmen abgeleitet werden. In Abbildung 5.8 ist die Kapazitätssteuerung als Rückstandsregelung dargestellt.

Die zweite Methode der Kapazitätssteuerung ist das Engpassprinzip. Dieses Verfahren kommt zum Einsatz, wenn die Planung trotz Erhöhung der Kapazität nicht eingehalten werden kann. In einem solchen Fall muss die Leistung der Produktion maximiert werden. Zu diesem Zweck wird der Engpass in der Fertigung identifiziert. Er erhält die höchstmögliche Kapazität. Alle anderen Systeme haben die Aufgabe, das Engpasssystem mit Aufträgen zu versorgen.

Der zusammenhängende Produktionsprozess eines Enderzeugnisses wird auf mehrere Feinplanungsinstanzen aufgeteilt. Daher sind die Instanzen voneinander abhängig. Die

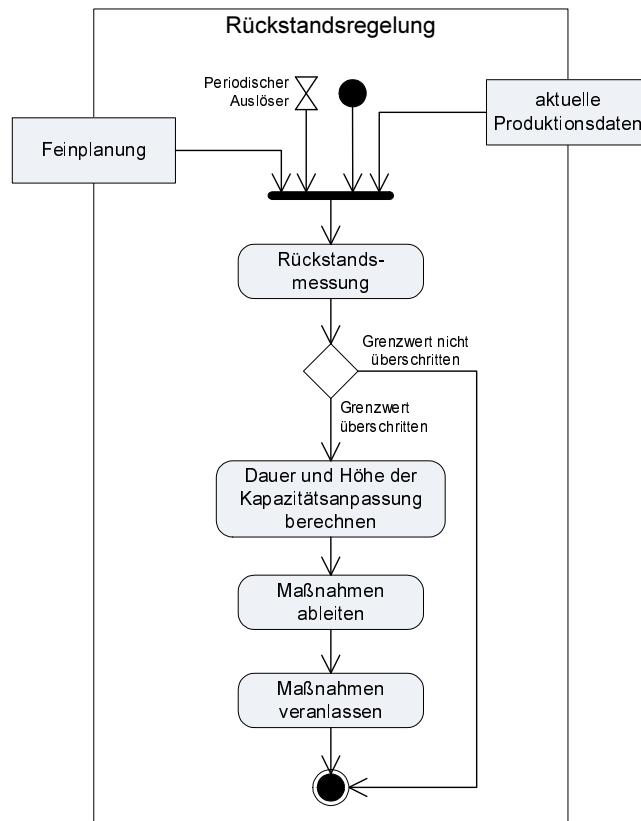


Abbildung 5.8.: Die Abläufe bei der Rückstandregelung der Kapazitätssteuerung

Feinplanungsbereiche müssen miteinander verbunden werden, damit Verzögerungen, die Probleme in anderen Instanzen nach sich ziehen, entsprechend berücksichtigt werden können.

Plantafel

Die Hauptaufgaben bei der Feinplanung und bei der Überwachung der Produktionsdurchführung werden durch Mitarbeiter übernommen. Das liegt vor allem daran, dass die Erfahrung der Disponenten nicht adäquat in einer Software abgebildet werden kann. Um sie optimal bei diesen Aufgaben zu unterstützen, wird eine Plantafel bereitgestellt. Sie ist das Werkzeug für die kurzfristige Feinplanung und zur Produktionssteuerung. Dabei wird die Planung visualisiert und der Disponent durch aktuelle Informationen aus der Produktion bei der Arbeit unterstützt. Zu diesem Zweck werden die Arbeitsplätze und die Aufträge in einem Gantt-Diagramm dargestellt. Darin enthalten sind alle Zeiten (Bearbeitungszeit, Rüstzeit, Pause) und die Zustände der Arbeitsgänge. Aktuelle Daten aus der Produktion, wie etwa Statusänderungen oder Maschinenstörungen, werden zeitnah berücksichtigt und angezeigt. Bei der Planung kann der Disponent verschiedene Algorithmen einsetzen. Zum Beispiel können die Reihenfolgen der Aufträge an den Maschinen automatisch erstellt werden. Weiterhin müssen Aktionen zur manuellen Planung komfortabel unterstützt werden. Das umfasst Tätigkeiten wie Verschieben, Verlagern oder Einplanen von Arbeitsgängen. Der Mitarbeiter hat weiterhin die Möglichkeit, durch Simulation verschiedene Pläne miteinander zu vergleichen. Bei Planänderungen können so die Auswirkungen der Maßnahmen simuliert

werden.([45], [8], [19], [21], [48])

Produktionsdurchführung

Die Produktionsdurchführung ist eng mit der Feinplanung verbunden und wird ebenfalls über die Plantafel gesteuert. Hauptaufgaben sind Steuerung und Überwachung der Arbeitsgänge. Darunter werden neben den eigentlichen Produktionstätigkeiten auch Qualitätsprüfungen und Rüstvorgänge zusammengefasst. Der Teilprozess wird mit der Initiierung des Arbeitsgangs gestartet. Das erfolgt zum Beispiel nach Abschluss des vorangehenden Arbeitsgangs. Als Erstes wird die Verfügbarkeit aller nötigen Betriebsmittel geprüft. Besonders wird darauf geachtet, dass die benötigten Materialien oder Werkzeuge angeliefert wurden. Nach erfolgreicher Prüfung wird der Arbeitsgang gestartet. Gleichzeitig werden die Steuerbefehle an die Automationsebene übertragen und der Arbeitsgangstatus verändert.([45], [8], [19], [21], [48])

Während der Durchführung des Arbeitsganges werden Prozessdaten aufgenommen und gespeichert. Dabei muss vorher definiert werden, welche Informationen wo gespeichert werden und aus welcher Quelle sie stammen. Bei der Ausführung kann es aus verschiedenen Gründen zu einer Unterbrechung kommen. Beispielsweise kann eine Maschinenstörung auftreten oder der Mitarbeiter zur Mittagspause gehen. Der Arbeitsgang wird dann unterbrochen. Liegt eine Maschinenstörung vor, müssen detaillierte Informationen dazu aufgenommen werden. Wenn alles wieder bereit ist, wird die Produktion fortgesetzt. Nach der Durchführung wird der Arbeitsgang abgeschlossen. Damit wird der Abtransport von Material und Werkzeug veranlasst und die Status von Material und Arbeitsgang aktualisiert.

Analyse

Die Produktionsdaten werden in der Analyse direkt nach ihrer Aufnahme weiterverarbeitet. Auf dieser Basis werden verschiedene Regelkreise innerhalb des MES realisiert. Die Stellgrößen werden dabei einerseits durch einfache Soll-Ist-Vergleiche, andererseits durch komplexe Analysen (z.B. mithilfe von Qualitätsregelkarten) bestimmt. Innerhalb des Produktionsprozesses ist die Analyse für die Aufbereitung der Prozessdaten zuständig. Das umfasst die Berechnung neuer Produktionsvorgaben, aber auch die Aufbereitung der Informationen für das ERP.([45])

Mit der Übergabe der Daten wird der Produktionsprozess innerhalb des MES abgeschlossen. Die Wertschöpfungskette wird im ERP beispielsweise mit der Rechnungslegung oder der Auslieferung der Produkte fortgesetzt.

Mit dem Prozessschritt Analyse wird die Geschäftsprozessmodellierung abgeschlossen. Es wurden alle wesentlichen Kernelemente erläutert und die Abläufe beschrieben. Während des Serviceentwurfs werden die einzelnen Prozessschritte nach Möglichkeit weiter verfeinert. Dabei entstehen möglichst gleichgranulare Geschäftsfunktionen, die die kleinste fachliche Abstraktionsebene bilden. Sie dienen als direkte Vorlage für die Operationen der Servicekandidaten.

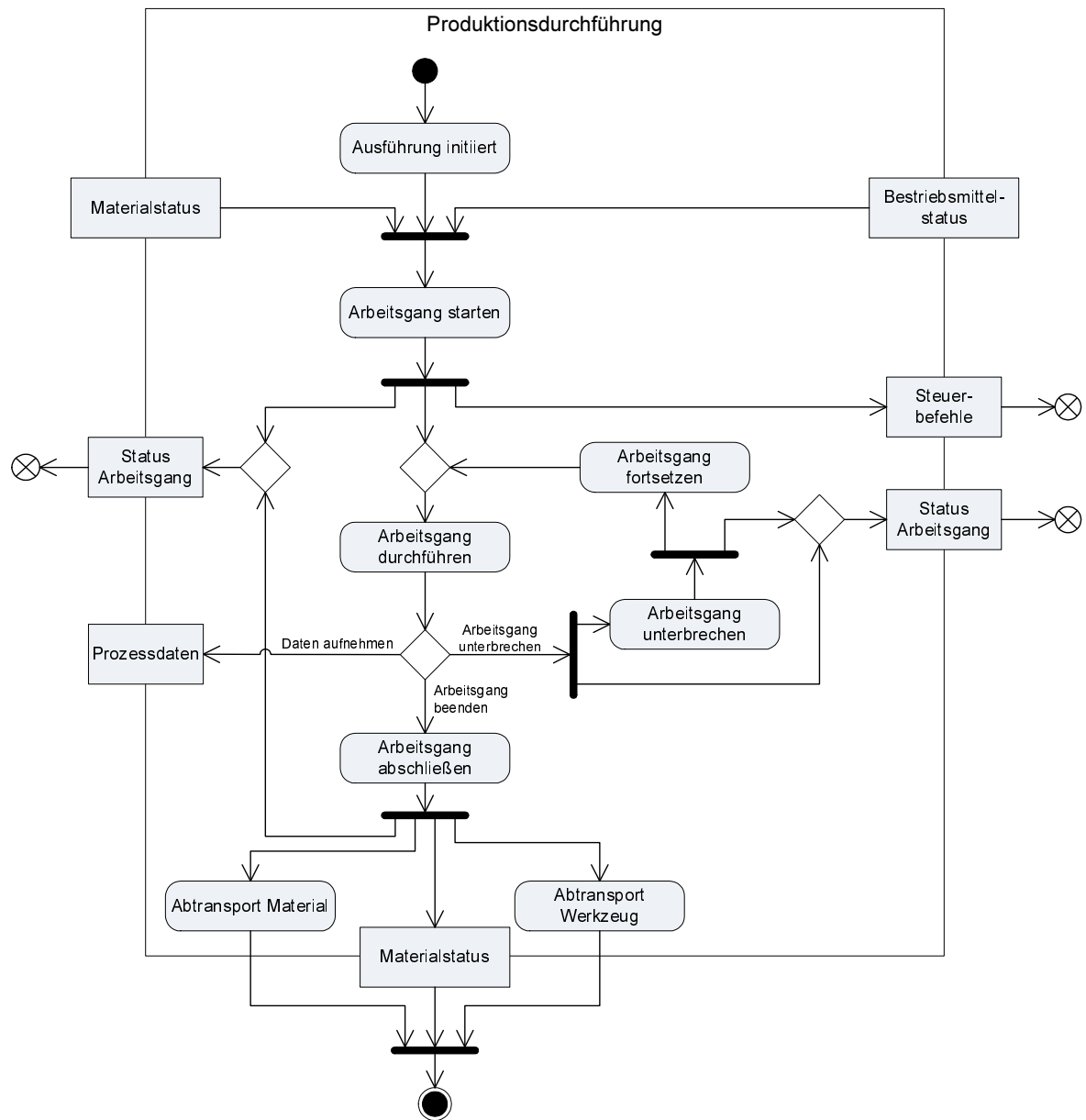


Abbildung 5.9.: Die Abläufe bei der Produktionsdurchführung

5.3. Geschäftsinformationsmodell des Produktionsprozesses

Aus der Modellierung des Produktionsprozesses können die relevanten Geschäftsobjekte abgeleitet werden. Im Rahmen des Geschäftsinformationsmodells werden diese Objekte und ihre Beziehungen analysiert und beschrieben. Das Modell enthält somit weitere fachliche Informationen, die beim Serviceentwurf verwendet werden. Dabei werden die Servicekandidaten durch Gruppierung der Geschäftsfunktionen um die Geschäftsobjekte erstellt. Es werden an dieser Stelle allerdings nur die Objekte betrachtet, die direkt mit dem Produktionsprozess verbunden sind. Darüber hinaus werden keine Aussagen über notwendige Regeln zur Integritätskontrolle oder Möglichkeiten der relationalen Speicherung getroffen. Diese Details werden im Rahmen des technologieorientierten Designprozesses festgelegt.

Ausgangspunkt des Produktionsprozesses ist ein Bedarf, der durch die Produktion befriedigt werden soll. Dabei kann es sich um einen Kundenauftrag, der im Rahmen der Grobplanung vom ERP zur Verfügung gestellt wurde, um einen berechneten Verbrauchsbedarf oder um einen abgeleiteten Sekundärbedarf handeln. Der Bedarf bezieht sich dabei immer auf ein bestimmtes Teil und definiert Liefertermin und benötigte Menge. Unter dem Begriff Teil sind alle Ausgangsmaterialien, Einzelteile, Baugruppen und Enderzeugnisse zusammengefasst. Es werden die Bestände, Puffermengen, aber auch geplante Zu- und Abgänge gespeichert. Die Bedarfe werden durch die Planung in Fertigungsaufträge umgewandelt. Diese Aufträge beziehen sich ebenfalls auf ein bestimmtes Teil. Zur Veranschaulichung sind die beschriebenen Objekte und ihre Beziehungen in Abbildung 5.10 dargestellt. Es handelt sich dabei um einen Ausschnitt aus dem Geschäftsinformationsmodell.

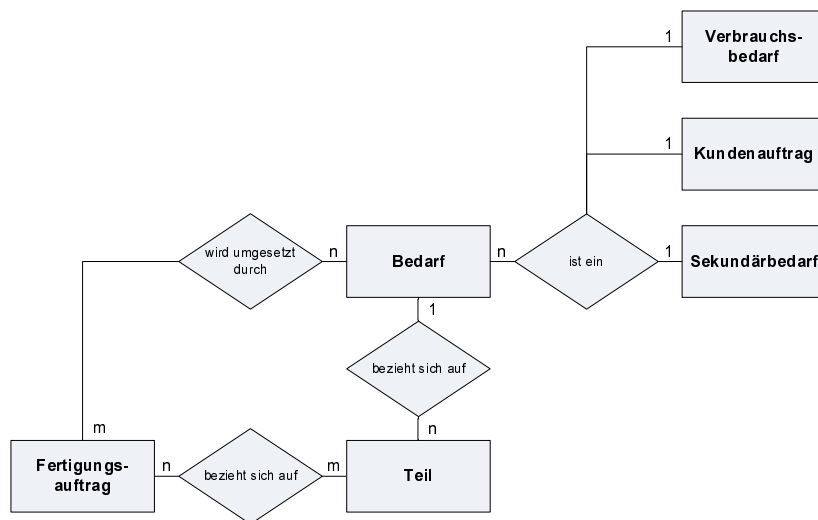


Abbildung 5.10.: Ein Ausschnitt aus dem Geschäftsinformationsmodell

Die Fremdteilbestellung verweist auf das Geschäftsobjekt Teil und beinhaltet den Bedarf, der durch externe Lieferanten gedeckt wird. Der Gozintograph zur Speicherung der Produktionsstruktur ist in den Stücklisten enthalten. Weiterhin gehören durchschnittliche Durchlaufzeiten und die benötigten Mengen zu diesem Objekt. Die Fertigung der Teile erfolgt durch die Abarbeitung bestimmter Arbeitsgänge, die im Arbeitsplan zusammengefasst sind. Weiterhin

sind darin mögliche Reihenfolgen gespeichert. Zur näheren Beschreibung der Arbeitsgänge ist jeder einer Maschinen-, Qualifikations- und Werkzeuggruppe zugeordnet. Dadurch werden die tatsächlichen Betriebsmittel für die anfänglichen Planungsstufen zusammengefasst und kategorisiert. Bei einem Arbeitsgang kann es sich um eine fest in den Produktionsverlauf integrierte Qualitätsprüfung handeln. Diese Arbeitsgänge sind mit relevanten Informationen der Qualitätssicherung verbunden. Beispielsweise kann dadurch ein benötigtes Messmittel oder ein Prüfplan zugeordnet werden.

Durch die Kategorisierung der Ressourcen gibt es verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, auf welcher Maschine und mit welchem Werkzeug ein bestimmter Arbeitsgang ausgeführt wird. Gerade von dieser Verknüpfung hängt ab, welche Daten später bei der tatsächlichen Ausführung aufgenommen werden. Aus diesem Grund werden die Kombinationen als *konkrete Arbeitsgänge* gespeichert, denen die Prozessdatendefinitionen zugeordnet sind.

Die normalen und konkreten Arbeitsgänge sind Vorlagen für tatsächlich ausgeführte Produktionsschritte, durch die die Erzeugnisse hergestellt werden. Die Aufgabe des Produktionsprozesses ist die Planung und Durchführung dieser Schritte. Im vorgestellten Informationsmodell werden Sie als *Realisierte Arbeitsgänge* (RAG) bezeichnet. Sie sind dem Fertigungsauftrag zugeordnet, für dessen Realisierung sie durchgeführt werden. Die RAG enthalten sowohl die Ausführungsplanung als auch die Dokumentation des betreffenden Produktionsprozesses. Zu diesem Zweck wird auf die gesammelten Prozessdaten verwiesen, die wiederum bestimmten Prozessdatendefinitionen zugeordnet sind. Damit ist das Geschäftsinformationsmodell für den Produktionsprozess vollständig beschrieben. Die wesentlichen Elemente wurden bereits bei der Geschäftsprozessmodellierung eingeführt. Zur besseren Übersicht befindet sich im Anhang in Abbildung A.1 eine vollständige Darstellung des Modells und in Tabelle A.1 eine Übersicht über die relevanten Attribute.

5.4. Serviceentwurf

Der Serviceentwurf ist der Kern der serviceorientierten Analyse. Dabei werden aus den modellierten Geschäftsprozessen Operationskandidaten abgeleitet. Im Anschluss daran werden die Operationen zu Servicekandidaten gruppiert. Grundlage für die Gruppierung bildet das Geschäftsinformationsmodell. Diese ersten Servicekandidaten werden durch verschiedene Arbeitsschritte sukzessive verfeinert. Ziel ist die Abbildung des Prozessablaufes auf diesen fachlichen Services. Anhand des entstandenen Fachkonzeptes aus Servicekandidaten wird am Ende dieses Kapitels die Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES bewertet.

Der durchgeführte Serviceentwurf basiert hauptsächlich auf der von Erl vorgeschlagenen Methode (vgl. Kapitel 3.2.). Das beschriebene Vorgehen wird durch andere Ansätze aus Kapitel 3 ergänzt. Die einzelnen Arbeitsschritte sollen dabei die in Kapitel 2 abgeleiteten Architekturziele umsetzen.

5.4.1. Zerlegung des Produktionsprozesses in seine Prozessschritte

Zunächst wird die Modellierung der Geschäftsprozesse weiter verfeinert. Dabei werden sogenannte Prozessschritte oder Geschäftsfunktionen identifiziert. Diese Funktionen stellen aus fachlicher Sicht die Prozessbestandteile dar, die die feinste Granularität aufweisen. Sie werden durch Elemente der Basislogik miteinander verknüpft und bilden so den Prozessablauf ab. Wichtige Kriterien für die Identifikation dieser Prozessschritte sind ein ausreichender Beitrag zur Wertschöpfung (vgl. Kapitel 3.4.) und eine funktionale Abgeschlossenheit (vgl. Kapitel 3.5.). Im weiteren Verlauf der serviceorientierten Analyse dienen sie als Vorlage für die Operationen der Servicekandidaten.

An dieser Stelle dient der Entwurfsschritt *Zerlegung der Geschäftsprozesse* aus Kapitel 3.2. als Vorlage. Allerdings finden sich auch in anderen Methoden ähnliche Ansätze. Beispielsweise sieht das Verfahren aus Kapitel 3.7. ebenfalls eine Zerlegung der Geschäftsprozesse in kleinste Einheiten vor. Zur Abgrenzung und Beschreibung der Prozessschritte erfolgt eine Analyse des Informationsflusses, wie sie in Kapitel 3.5. empfohlen wird.

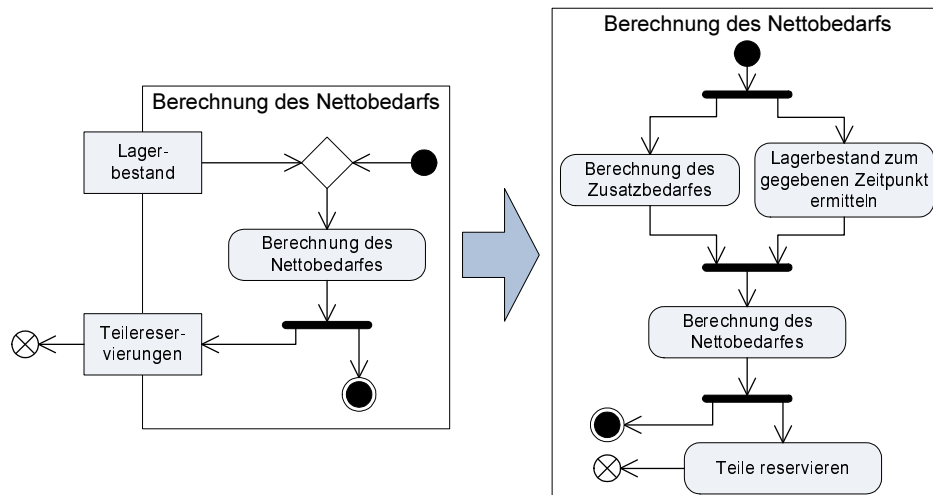


Abbildung 5.11.: Die Umwandlung des Informationsflusses in Prozessschritte

Der fachliche Ablauf des Produktionsprozesses wurde im Rahmen der Geschäftsprozessmodellierung ausführlich beschrieben. Dieser Ablauf wird nun lediglich in disjunkte Prozessschritte aufgeteilt und verfeinert. Dabei sollen zunächst konkrete Arbeitsschritte vorgestellt und beispielhaft erläutert werden, die zu diesem Zweck auszuführen sind. Ein wichtiger Schritt ist die Beschreibung ein- und ausgehender Informationen als Geschäftsfunktionen. Die SOA wird auf einer hohen Abstraktionsebene entworfen. Das bedeutet, dass der Zugriff auf die Daten ausschließlich über die Services erfolgt. Die Transformation des Informationsflusses ist wichtig, denn die entstehenden Prozessschritte dienen als Vorlage für die benötigten Operationen. Beispielsweise wird bei der Berechnung des Nettobedarfs der aktuelle Lagerbestand benötigt. Das Ergebnis löst die Reservierung der Teile im Lager aus. Das einfache Beispiel ist in Abbildung 5.11 dargestellt. Ähnlich dem Informationsfluss muss auch die Erstellung von Geschäftsobjekten als Prozessschritt vorgesehen werden.

Eine weitere Maßnahme bei der Identifikation der Prozessschritte ist die genaue Zuord-

nung von Geschäftsobjekten. Betrifft eine Aktion mehrere Objekte, so sollten daraus mehrere Prozessschritte erstellt werden. Das hilft später bei der eindeutigen Zuordnung der Operationen zu den Geschäftsobjekten. Ein Beispiel dafür ist die Engpasskontrolle. Dabei werden alle Betriebsmittel auf Engpässe untersucht. Das betrifft im Einzelnen die Qualifikations-, Maschinen- und Werkzeuggruppen. In Abbildung 5.12 sind die resultierenden Geschäftsfunktionen dargestellt.

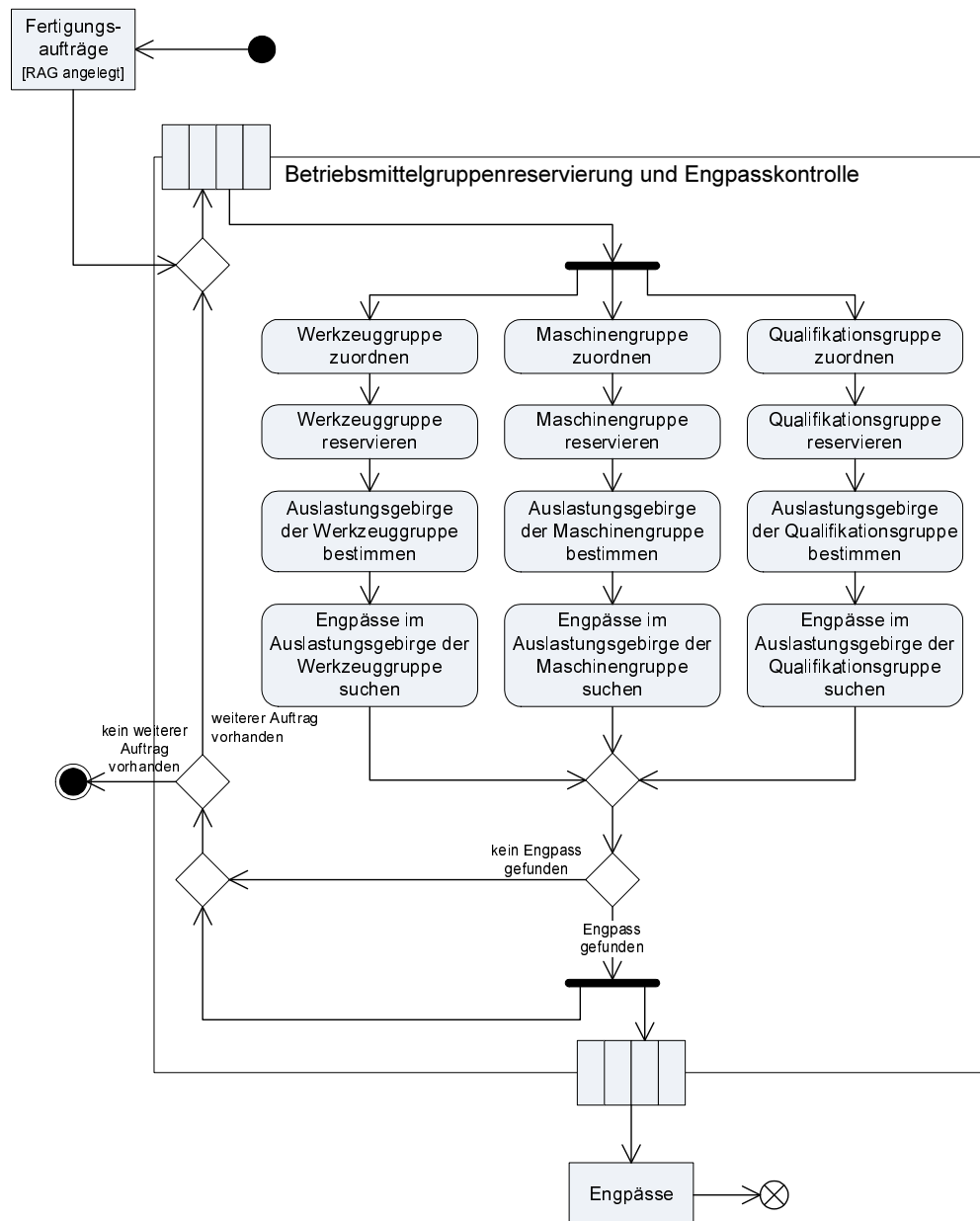


Abbildung 5.12.: Die genaue Zuordnung der Geschäftsfunktionen zu den Informationsobjekten

Ein Geschäftsprozess umfasst manuelle und automatische Prozessschritte. Zur vollständigen Modellierung sind alle Schritte notwendig. Die Unterscheidung ist für den Serviceentwurf von großer Bedeutung, denn ausschließlich die automatischen Prozessschritte können als Serviceoperationen implementiert werden. Ein gutes Beispiel für dieses Vorgehen ist der Kapazi-

tätsabgleich der Zeit- und Kapazitätsplanung. Bei einem Engpass wird zunächst versucht, die Kapazitätsauslastung über den Planungszeitraum automatisch zu glätten. Kann das Problem auf diese Weise nicht gelöst werden, stehen dem Disponenten weitere manuelle Maßnahmen zur Verfügung. Unter anderem kann er Extraschichten ansetzen oder zusätzliche Betriebsmittel beschaffen. Der beschriebene Teilprozess ist in Abbildung 5.13 zu sehen. Zur besseren Übersicht weicht die Darstellung dabei von der UML-Norm ab, indem die manuellen Aktionen speziell gekennzeichnet werden.

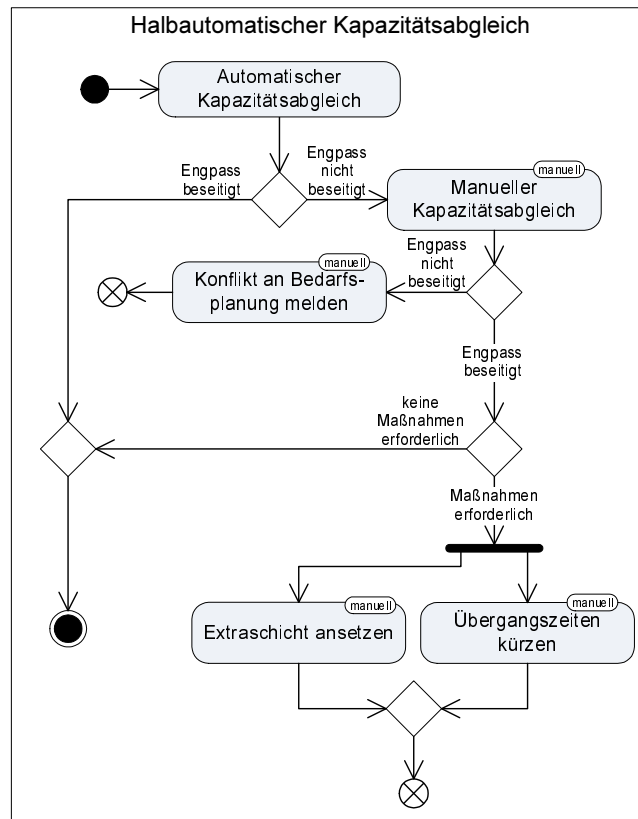


Abbildung 5.13.: Die Kennzeichnung der manuellen Prozessschritte

Der Produktionsprozess sieht eine schrittweise Verfeinerung der Planung vor, die sich bei der Modellierung der Geschäftsprozesse widerspiegeln sollte. Daher werden die Informationsobjekte, die in den verschiedenen Phasen im Mittelpunkt stehen, zunehmend spezieller. Beispielsweise beginnt die Bedarfsplanung mit Bedarfen, die jeweils in mehrere Fertigungsaufträge umgewandelt werden. Später in der Feinplanung werden einzelne RAG auf konkreten Maschinen verplant. Die Prozessschritte müssen die jeweils relevanten Geschäftsobjekte spezifizieren, damit sie später richtig zugeordnet werden können.

Neben diesen allgemeinen Umformungsregeln soll nachfolgend auf bestimmte Verfeinerungen des Produktionsprozesses eingegangen werden, die einer genaueren Beschreibung bedürfen. Bei der Bedarfsauflösung muss sichergestellt werden, dass jedes Teil nur einmal berücksichtigt wird. Zu diesem Zweck werden die Bedarfe nach ihrer Dispositionsstufe sortiert. Die Stufe repräsentiert den längsten Weg im Gozintographen von einem Enderzeugnis zum jeweiligen Teil.

Bei der Auftragsfreigabe werden der Feinplanung periodisch Aufträge zugeführt. Welche Aufträge freigegeben werden, wird durch eine Verfügbarkeitsprüfung bestimmt. Dabei müssen auch die Kapazitäten berücksichtigt werden, die durch freigegebene, aber noch nicht abgeschlossene Aufträge belegt werden.

Ein weiteres Beispiel ist die halbautomatische Planerstellung innerhalb der Feinplanung. Dabei werden zunächst automatisch mehrere Pläne erstellt. Grundlage für diese Berechnung bilden Informationen über Betriebsmittel und Arbeitsgänge sowie die Prioritäten der einzelnen Aufträge. Der Disponent wählt im Anschluss aus diesen Plänen einen Plan zur Simulation aus. Mithilfe der simulierten Ergebnisse kann eine Entscheidung über die Freigabe der Planung getroffen werden. Der beschriebene Ablauf ist in Abbildung 5.14 dargestellt.

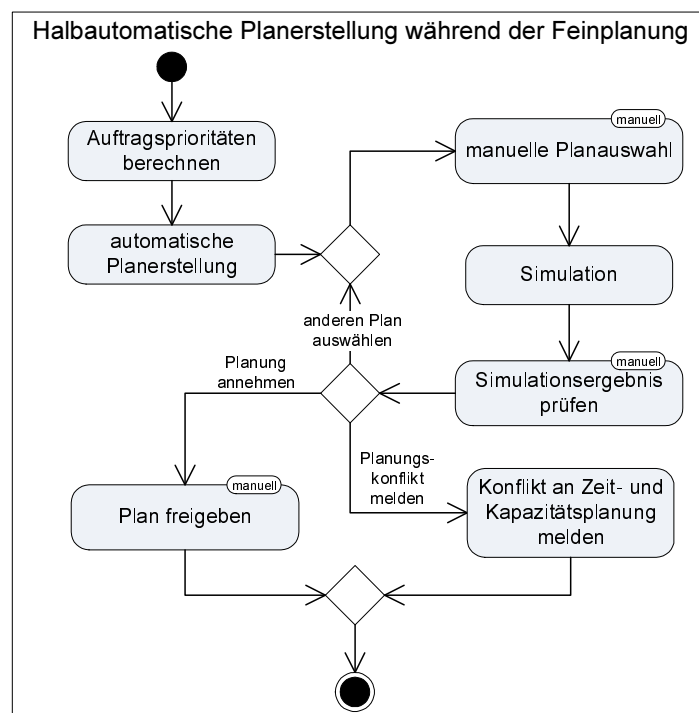


Abbildung 5.14.: Die Beschreibung der halbautomatischen Planerstellung während Feinplanung

Bei der Produktionsdurchführung kann es durch eine Maschinenstörung zur Unterbrechung kommen. Kann diese Störung nicht zeitnah behoben werden, muss der RAG eventuell auf einer anderen Maschine fortgesetzt werden. Aus diesem Grund enthält die Produktionsdurchführung zwei mögliche Startpunkte.

Die Analyse legt den Grundstein für den KVP und berechnet viele Kennzahlen, die die weitere Planung beeinflussen. Diese Daten sind jedoch nur indirekt mit dem Produktionsprozess verbunden. Aus diesem Grund sind sie nicht Teil des Prozessablaufes. Lediglich die Verdichtung der Produktionsergebnisse für das ERP ist direkt mit dem Produktionsprozess verbunden.

Damit ist die Zerlegung des Produktionsprozesses in seine Prozessschritte abgeschlossen. Die entstandenen Aktivitätsdiagramme werden nachfolgend dargestellt. Dabei ist die Bedarfsplanung in Abbildung 5.15 dargestellt. Die Zeit- und Kapazitätsplanung ist in Abbildung 5.16

zu sehen. Dabei wurden die Reservierung der Betriebsmittel und die Engpasskontrolle zur besseren Übersicht in einem eigenen Diagramm (Abbildung 5.12) dargestellt. Außerdem wurde die Auftragsfreigabe gesondert in Abbildung 5.17 modelliert. Bei der Feinplanung wurden die Neuplanung (Abbildung 5.18) und die Kapazitätssteuerungen (Abbildung 5.19) getrennt betrachtet. Abschließend wurden die Produktionsdurchführung und die Analyse in einem Aktivitätsdiagramm zusammengefasst, dass in Abbildung 5.20 dargestellt ist.

5.4.2. Kontextbezogene Gruppierung der Operationskandidaten

Bei der kontextbezogenen Gruppierung werden erste Entwürfe der Servicekandidaten erstellt. Zu diesem Zweck werden die Prozessschritte zunächst aus dem Ablauf des Geschäftsprozesses gelöst, indem die verbindenden Elemente der Basislogik entfernt werden. Im Anschluss daran müssen die für die Umsetzung der SOA uninteressanten Geschäftsfunktionen aussortiert werden. Darunter fallen in dieser Arbeit nur die manuellen Schritte. In herkömmlichen Projekten mit Legacysystemen werden auch Funktionen aussortiert, die nicht in Services gekapselt werden sollen. Die restlichen Prozessschritte stellen die ersten Entwürfe der Operationskandidaten dar. Diese Operationen werden nun zu Servicekandidaten gruppiert. In der vorliegenden Diplomarbeit werden objektzentrierte Services erstellt. Aus diesem Grund dient das Geschäftsinformationsmodell als Gruppierungskontext.

Das beschriebene Vorgehen fasst die Schritte zwei bis vier der serviceorientierten Analyse aus Kapitel 3.2. zusammen. Das liegt daran, dass bei der Geschäftsprozessmodellierung, bei der Identifikation des Informationsmodells und bei der Zerlegung der Prozesse in Geschäftsfunktionen bereits umfangreiche Vorarbeiten geleistet wurden. Die beschriebene Einteilung in manuelle und automatische Prozessschritte wurde ebenfalls in Kapitel 3.5. und 3.6. vorgeschlagen.

Das Herauslösen der Prozessschritte aus der Ablauflogik und das Aussortieren uninteressanter Schritte erfolgt auf Grundlage der modellierten Aktivitätsdiagramme (siehe Abbildung 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 und 5.20). Im Anschluss daran werden die relevanten Geschäftsfunktionen um Geschäftsobjekte gruppiert. Zu diesem Zweck werden die Prozessschritte zunächst kategorisiert. Die erste Kategorie sind Prozessschritte, die ausschließlich mit einem Geschäftsobjekt verbunden sind. Diese Schritte werden dem entsprechenden Objekt zugeordnet. Ein Beispiel dafür ist der Abruf der durchschnittlichen Durchlaufzeit eines Teils während der Bedarfsplanung.

Eine weitere Kategorie umfasst Geschäftsfunktionen, die einem Hauptobjekt zugeordnet werden können, aber insgesamt mit mehreren Geschäftsobjekten verbunden sind. Diese Funktionen werden dem Hauptobjekt zugeordnet. Beispielsweise wird die Berechnung des Zusatzbedarfes dem Objekt Bedarf zugeordnet. Der prozentuale Wert für diese Berechnung ist aber im Objekt Teil gespeichert.

Die ersten beiden Kategorien enthalten elementare Operationskandidaten, die leicht zugeordnet werden können. Diese Operationen bilden die Mehrheit aller relevanten Prozessschritte. Die nächste Kategorie umfasst die Geschäftsfunktionen, die im Rahmen des Einsatzgebietes

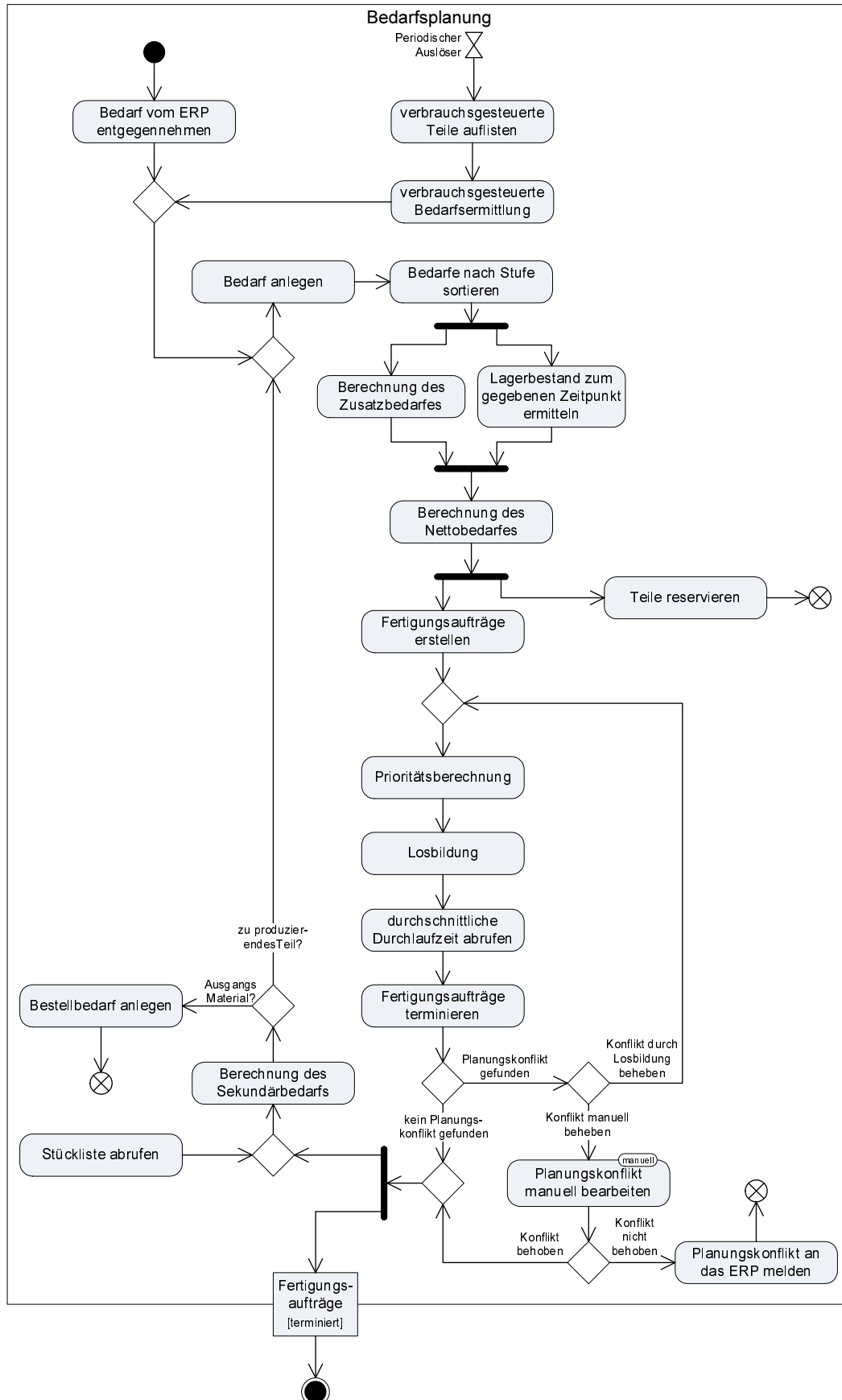


Abbildung 5.15.: Die Prozessschritte der Bedarfsplanung

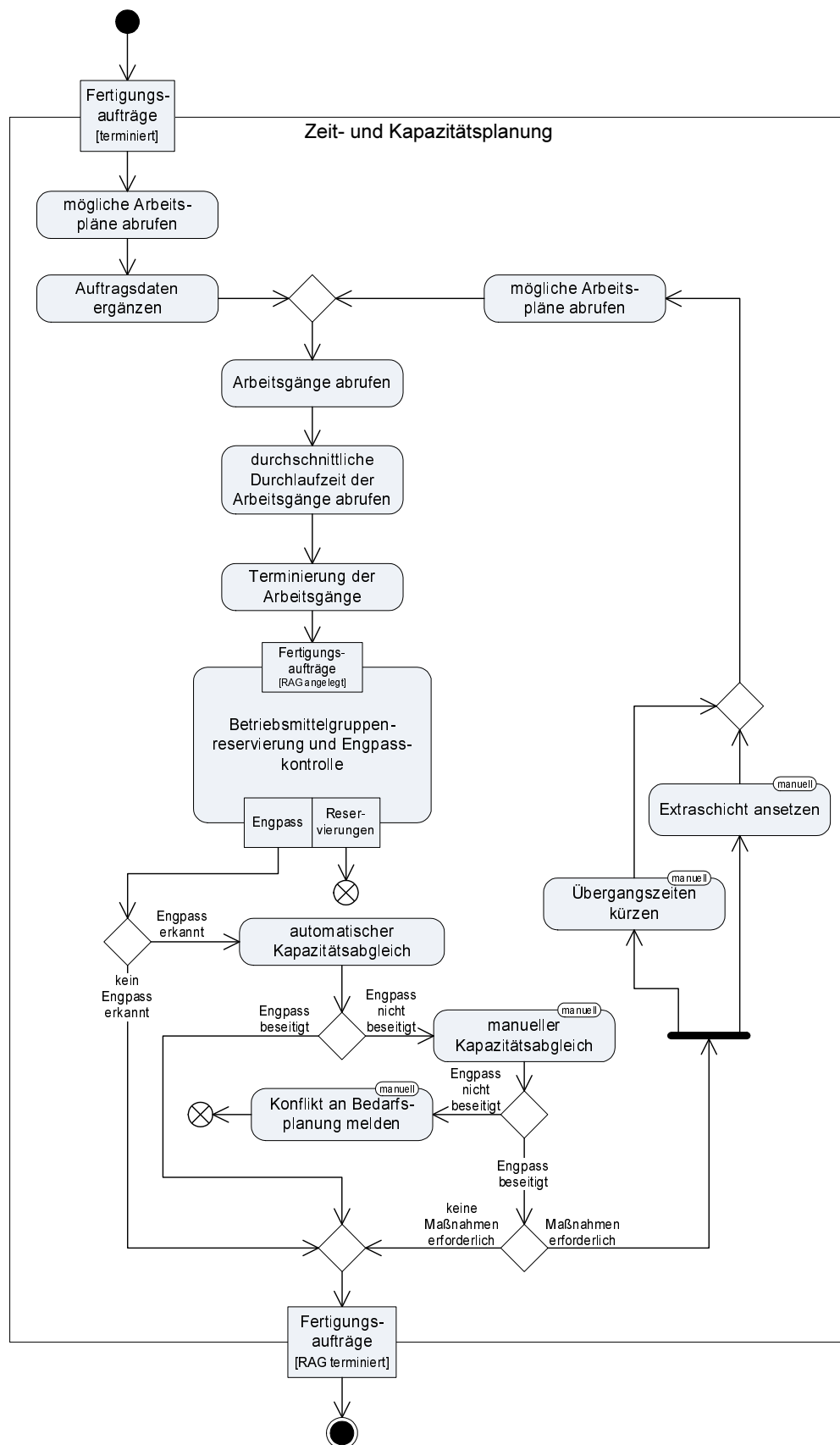


Abbildung 5.16.: Die Prozessschritte der Zeit- und Kapazitätsplanung

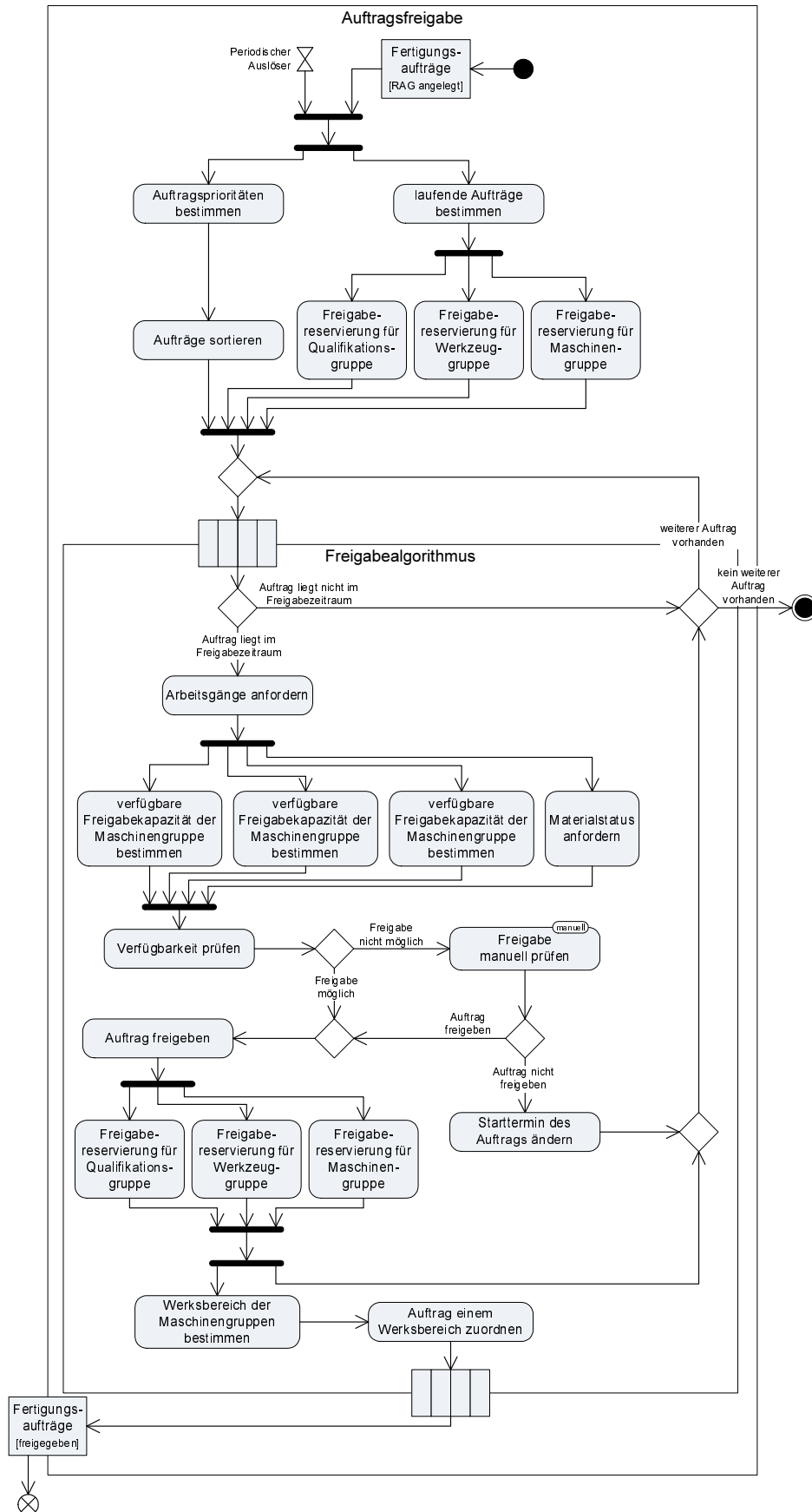


Abbildung 5.17.: Die Prozessschritte der Auftragsfreigabe

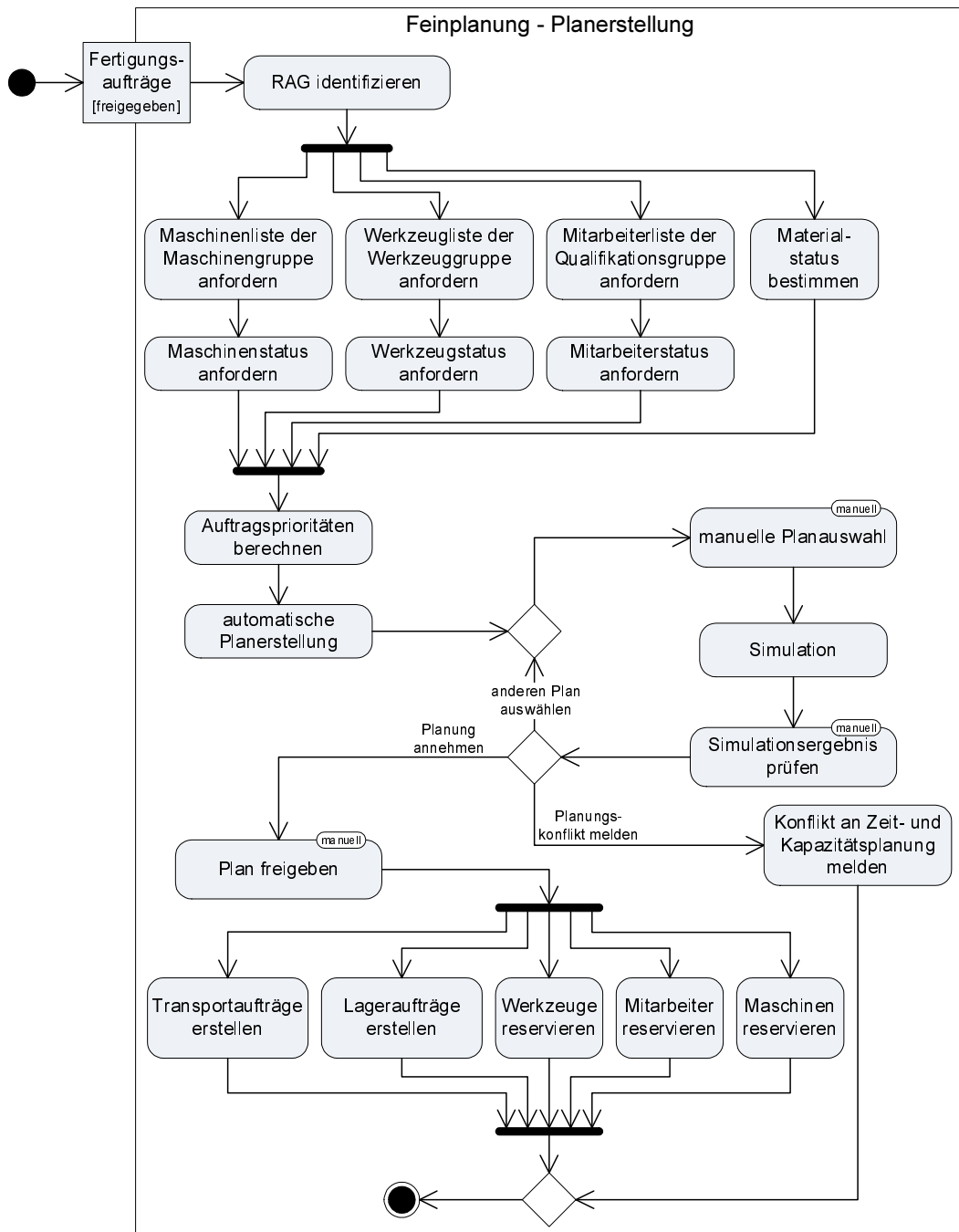


Abbildung 5.18.: Die Prozessschritte der Feinplanung

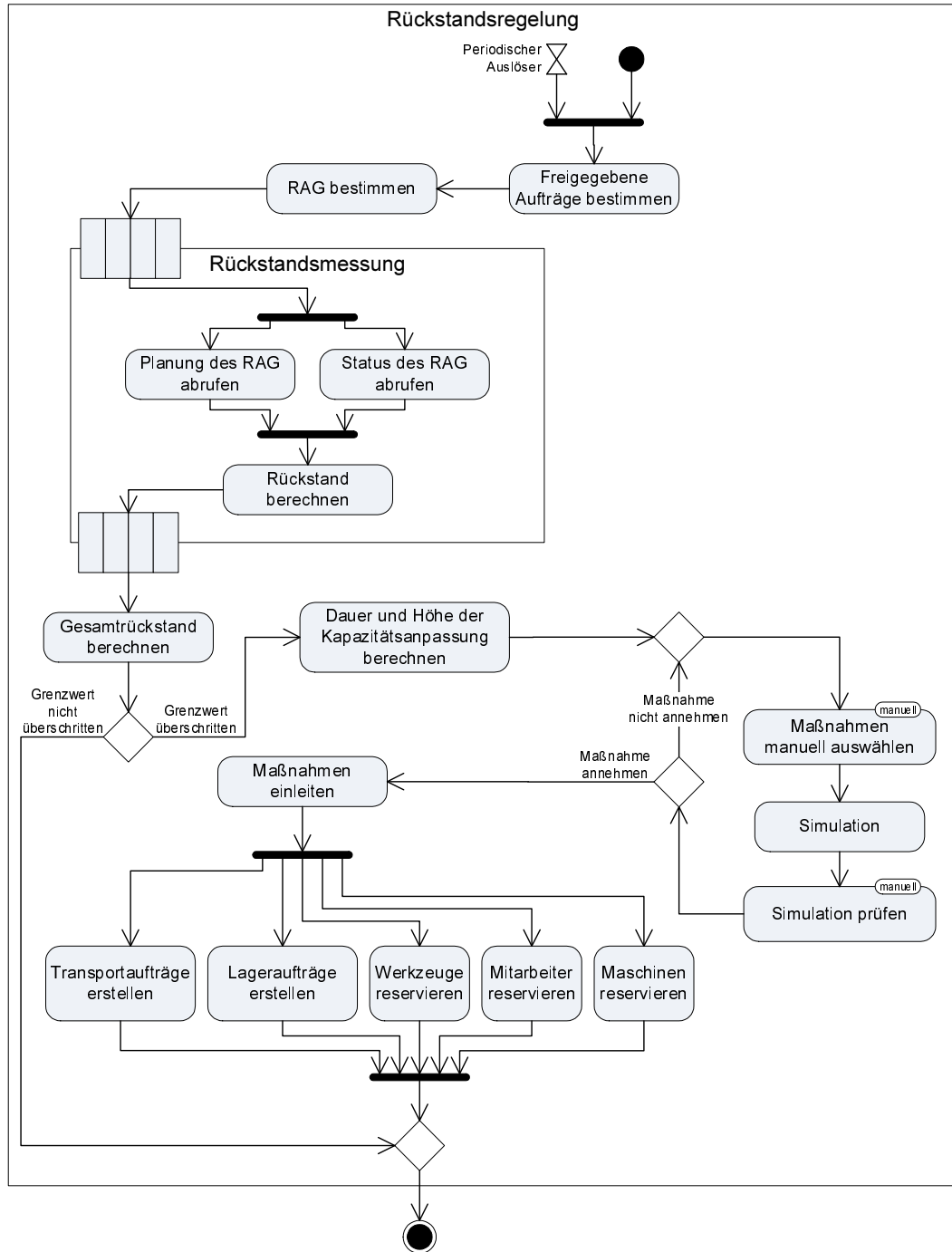


Abbildung 5.19.: Die Prozessschritte der Rückstandsregelung

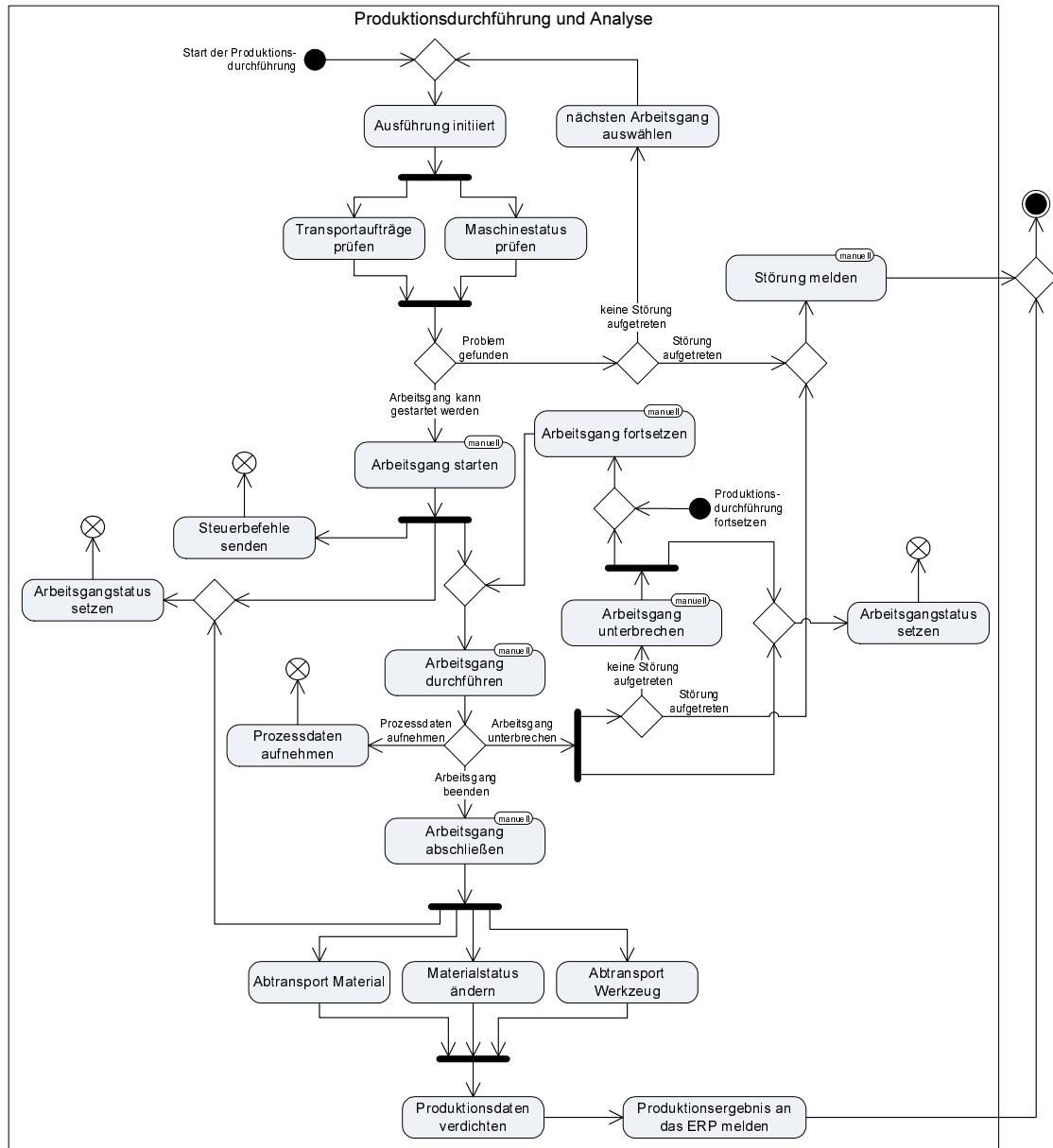


Abbildung 5.20.: Die Prozessschritte der Produktionsdurchführung und der Analyse

nicht sinnvoll zugeordnet werden können. Das betrifft besonders objektzentrierte Services, deren Funktionalität nur zu einem kleinen Teil genutzt wird. Diese Services werden dann entworfen, wenn der entsprechende Bereich in eine SOA umgewandelt wird. Beispiele für solche Prozessschritte sind das Anlegen von Transportaufträgen oder das Rückmelden der Produktionsergebnisse an das ERP.

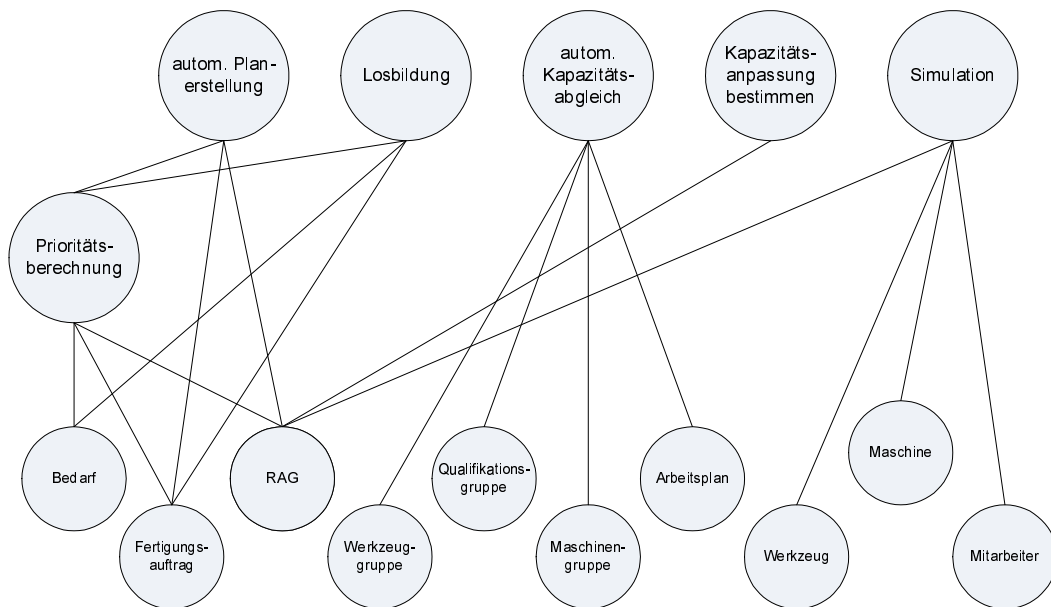


Abbildung 5.21.: Die identifizierten prozesszentrierten Services und ihre Beziehungen

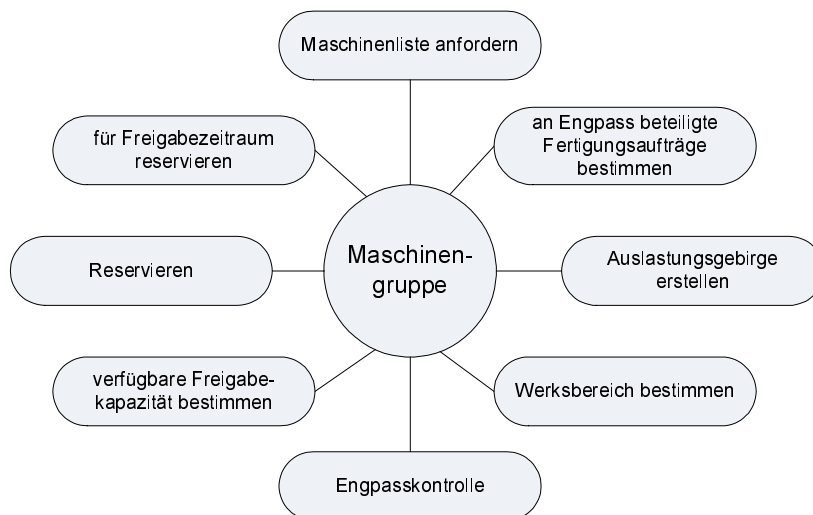


Abbildung 5.22.: Die Maschinengruppe nach der ersten Gruppierung

Die letzte Kategorie umfasst komplexe Prozessschritte, die Daten von mehreren Geschäftsobjekten manipulieren. Es ist nicht sinnvoll, solche Schritte einem bestimmten Geschäftsobjekt zuzuordnen. Sie werden vielmehr als eigenständige Prozessservices realisiert, die auf elementare Operationen der objektzentrierten Services zugreifen (vgl. Kapitel 2.2.5.). Durch die Beschreibung dieser Services können zusätzliche Operationskandidaten der objektzentrierten Services identifiziert werden. Ein Beispiel innerhalb des Produktionsprozesses ist der automa-

tische Kapazitätsausgleich. Um Engpässe bei den Kapazitäten zu beseitigen, werden zuerst die Kapazitätsgebirge der Betriebsmittelgruppen benötigt. Weiterhin muss eine Operation der Betriebsmittelgruppen geschaffen werden, welche die an einem Engpass beteiligten Fertigungsaufträge liefert. Außerdem werden die Arbeitspläne und die jeweiligen RAG benötigt. Mithilfe dieser Informationen erfolgt eine Glättung der problematischen Kapazitätsgebirge.



Abbildung 5.23.: Der Fertigungsauftrag nach der ersten Gruppierung

Ein weiterer Prozessservice ist die automatische Planerstellung während der Feinplanung. Dabei werden die einzelnen RAG terminiert und konkreten Betriebsmitteln zugeordnet. Zu diesem Zweck werden die freigegebenen Aufträge und ihre RAG benötigt. Weiterhin wird eine Funktion zur Prioritätsberechnung benötigt.

Das Sortieren bestimmter Informationsobjekte nach Priorität kommt im Produktionsprozess an verschiedenen Stellen vor. Dabei muss die Priorität für Bedarfe, RAG und Fertigungsaufträge berechnet werden. Außerdem kommen je nach Unternehmensstrategie unterschiedliche Algorithmen zum Einsatz. Daher wird die Prioritätsberechnung in einem eigenständigen Service gekapselt. Auf diese Weise kann bei wechselnden Produktionsbedingungen der zu den jeweiligen Anforderungen passende Algorithmus eingebunden werden. Zum Abschluss sind die Prozessservices und ihre Verbindungen zu den objektzentrierten Geschäftsservices in Abbildung 5.21 dargestellt. Damit ist die Einteilung der Prozessschritte und die Gruppierung der Operationskandidaten abgeschlossen. In den Abbildungen 5.22 und 5.23 sind beispielhaft die entstandenen Servicekandidaten Fertigungsauftrag und Maschinengruppe abgebildet. Das vollständige Ergebnis der Gruppierung befindet sich im Anhang (Abbildung A.2, A.3 und A.4).

Nachdem die Prozessschritte gruppiert wurden, stehen nun die ersten Entwürfe der Servicekandidaten zur Verfügung. Im weiteren Verlauf der Analyse sollen diese Kandidaten nun verfeinert werden. Um detailliert auf die verwendeten Methoden eingehen zu können, sollen zwei Servicekandidaten stellvertretend für die anderen verwendet werden. Einige der Kandidaten können im Rahmen der Analyse des Produktionsprozesses nicht vollständig untersucht werden, weil ihre Kernfunktionalität außerhalb davon liegt. Beispielsweise fehlen

dem Service Mitarbeiter elementare Operationen, wenn das Personalmanagement nicht analysiert wird. Um eine möglichst gute Aussage über die Ergebnisse der Arbeitsschritte treffen zu können, sollen zwei Kandidaten ausgewählt werden, deren Funktionalität hauptsächlich im Rahmen des Produktionsprozesses eingesetzt wird. Darüber hinaus sollten sie über eine ausreichend große Anzahl an Funktionen verfügen, damit alle Aspekte der Methoden erläutert werden können. Aus diesen Gründen werden die Servicekandidaten Fertigungsauftrag und Maschinengruppe zur Bearbeitung ausgewählt.

5.4.3. Umsetzung relevanter SOA-Architekturziele

In diesem Abschnitt werden die Servicekandidaten auf die Umsetzung der SOA-Architekturziele hin untersucht. Dabei ist zu beachten, dass die serviceorientierte Analyse nicht auf jedes Ziel den gleichen Einfluss hat. Hauptsächlich kann in dieser Phase die Wiederverwendbarkeit und die Autonomie verbessert werden. Zu diesem Zweck werden die Operationen und die zugrundeliegende Logik der Servicekandidaten genauer betrachtet.

Der Arbeitsschritt wurde nahezu identisch aus der in Kapitel 3.2. vorgestellten Methode übernommen. Die Verbesserung der Wiederverwendbarkeit ist allerdings auch ein Ziel anderer Verfahren. Dabei sollen die Services generalisiert (vgl. Kapitel 3.1.) und von prozessspezifischen Abhängigkeiten gelöst (vgl. Kapitel 3.4.) werden. Weiterhin können potentielle Nutzer identifiziert und zukünftig benötigte Funktionen definiert werden. (vgl. Kapitel 3.7.)

Autonomie

Zunächst wird die Autonomie der Kandidaten analysiert. Dieses Prinzip zählt zwar nicht zu den abgeleiteten Architekturzielen, allerdings werden durch eine gute Autonomie die Zustandslosigkeit und die Wiederverwendbarkeit positiv beeinflusst.

Die entworfenen Servicekandidaten wurden um Informationsobjekte gruppiert. Auf diese Weise konnte die Funktionalität gut abgegrenzt und zugeordnet werden. Eine potentielle Gefahr liefern Objekte, die eng miteinander verbunden sind. Als Beispiele sind in diesem Zusammenhang RAG und Fertigungsauftrag oder Maschine und Maschinengruppe zu nennen. Die bisher gruppierten Operationskandidaten weisen aber eine gute funktionale Trennung auf. Die Verbindung zwischen Werkzeuggruppe und Maschinengruppe, die auch als Kompatibilitätsmatrix bezeichnet wird, ist in diesem Zusammenhang kritischer zu betrachten. Die potentiellen Operationen lassen sich nicht eindeutig zuordnen. Aus diesem Grund wird die Erstellung des neuen Servicekandidaten Kompatibilitätsmatrix vorgeschlagen.

Wiederverwendbarkeit

Zur Verbesserung der Wiederverwendbarkeit werden während der serviceorientierten Analyse zwei Arbeitsschritte durchgeführt. Zuerst erfolgt eine Verfeinerung und Generalisierung der vorhandenen Operationen. Dabei wird gezielt die Unabhängigkeit vom Ablauf des Geschäftsprozesses verbessert. Im Anschluss daran werden potentielle Operationen definiert, die zukünftig oder in einem anderen Kontext benötigt werden könnten. In realen Projekten er-

folgt diese Definition in enger Zusammenarbeit mit den fachlichen Wissensträgern. Dadurch erhalten die Programmierer eine Vorstellung über die Richtung, in die sich der Service auf fachlicher Ebene entwickeln könnte.

Nachfolgend soll der erste Arbeitsschritt an den Servicekandidaten beispielhaft erläutert werden. Zunächst wird dabei die Maschinengruppe untersucht. Dabei werden die Operationen *Für den Freigabezeitraum reservieren* und *Verfügbare Freigabekapazität bestimmen* betrachtet. Diese Funktionen weisen bereits eine gewisse Ablaufunabhängigkeit auf, denn für den beschriebenen Geschäftsprozess würde eine Operation genügen. Diese Funktion würde bei erfolgreicher Reservierung eine Bestätigung zurückmelden, während bei Problemen die Reservierung nicht ausgeführt und ein Fehler übergeben wird. Die Teilung in zwei Operationen ermöglicht es, weitere Funktionen dazwischen auszuführen. Zur Vollständigkeit könnte eine Operation vorgesehen werden, die eine durchgeführte Reservierung rückgängig macht.

Ein weiterer kritischer Operationskandidat ist *Am Engpass beteiligte Fertigungsaufträge bestimmen*. Die Funktion sollte generalisiert werden, um die Fertigungsaufträge einer bestimmten Periode zurückzugeben. Das erfordert allerdings, dass die vom Engpass betroffenen Perioden vorher bekannt sind. Zu diesem Zweck soll die Engpasskontrolle die entsprechenden Zeiträume zurückliefern. Eine weitere Möglichkeit wäre die externe Lokalisierung der Engpässe im Auslastungsgebirge.

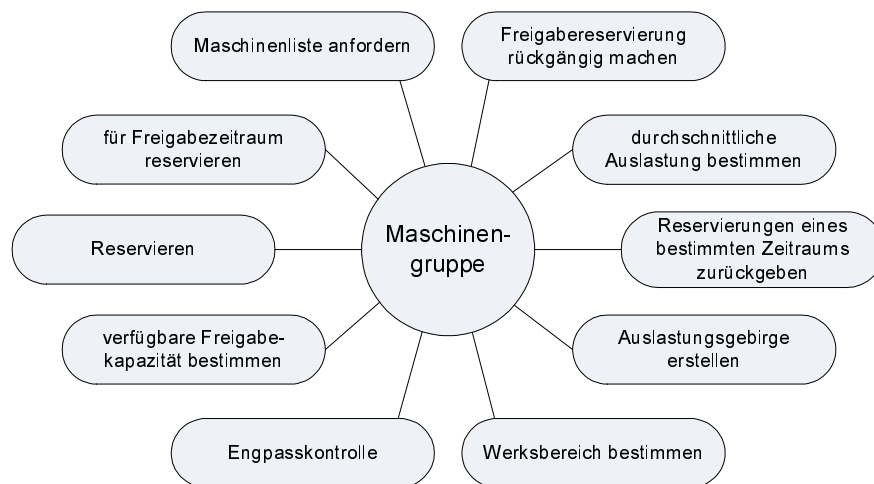


Abbildung 5.24.: Die Maschinengruppe nach der Umsetzung der Architekturziele

Bei der Betrachtung des Fertigungsauftrages weist besonders der Prozessschritt *Laufende Aufträge bestimmen* eine enge Bindung an den Ablauf des Geschäftsprozesses auf. Eine mögliche Verallgemeinerung stellt eine Operation dar, die alle Fertigungsaufträge eines bestimmten Status zurückliefert. Damit könnte der Prozessschritt realisiert werden, denn vor der erneuten Freigabe haben die gesuchten Aufträge entweder den Status *freigegeben* oder *in Bearbeitung*. Weiterhin können die Funktionen *Terminieren* und *Starttermin ändern* zusammengefasst werden. Wird ein Auftrag terminiert, der bereits einen Termin besitzt, so wird dieser einfach überschrieben. Abschließend sollte die Operation *Auftrag freigeben* zu *Status setzen* generalisiert werden.

Nach der ersten Überarbeitung der Operationskandidaten sollen nun potentielle Funktionen definiert werden. Dabei wird zunächst die Maschinengruppe untersucht. Eine sinnvolle Funktion liefert die durchschnittliche Auslastung der zugehörigen Maschinen. Auf diese Weise kann ein Engpass in der Produktion identifiziert werden. Außerdem bildet ein solcher Wert die Basis für Investitionsentscheidungen.

Der Fertigungsauftrag wiederum könnte eine Operation zur Berechnung der durchschnittlichen Durchlaufzeit eines Teils anbieten. Dabei werden alle Daten abgeschlossener Aufträge untersucht. Weiterhin kann in der Plantafel der prozentuale Fortschritt in Bearbeitung befindlichen Aufträge angezeigt werden. Außerdem kann bei der Rückstandsmessung eine Liste der Aufträge verwendet werden, die in Verzug geraten sind.

Schon an diesen Beispielen ist zu erkennen, dass der Arbeitsschritt in realen Projekten nicht vollständig durchgeführt werden kann. Einerseits ist es höchst fraglich, ob die identifizierten Operationen tatsächlich in dieser Form zum Einsatz kommen. Auf der anderen Seite bindet eine umfassende Untersuchung wertvolle Entwicklungskapazitäten.

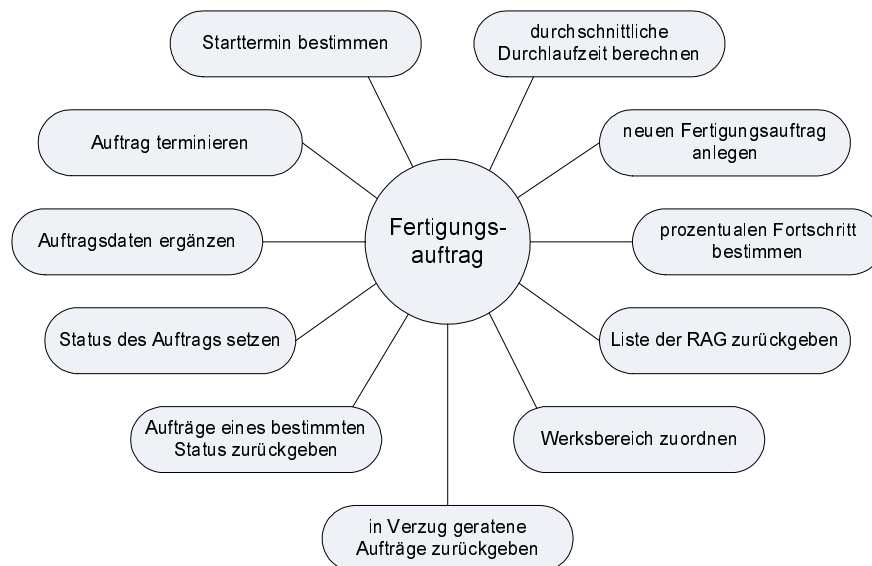


Abbildung 5.25.: Der Fertigungsauftrag nach der Umsetzung der Architekturziele

Mit der Identifikation potentieller Operationen wird die Umsetzung relevanter SOA-Architekturziele abgeschlossen. In den Abbildungen 5.24 und 5.25 sind die verfeinerten Servicekandidaten dargestellt. Die Beispiele zeigen, dass dieser Entwurfsschritt eine umfangreiche Untersuchung beinhaltet. Es sollten gute Services mit vertretbaren Mitteln entwickelt werden. Ziel bei diesem Schritt ist daher ein guter Kompromiss zwischen Aufwand und Ergebnis.

5.4.4. Untersuchung alternativer Prozessabläufe

Um die Servicekandidaten weiter zu verfeinern werden nun alternative Abläufe innerhalb der Geschäftsprozesse untersucht. Dabei geht es um die Frage, auf welchem Weg das Ergebnis von Teilprozessen noch erreicht werden kann. Außerdem sollen gezielt Ausnahmen und Fehlerbehandlungen innerhalb des Prozesses untersucht werden. Dieser Schritt stammt ebenfalls

aus der in Kapitel 3.2. vorgestellten Methode. Wichtige Ziele in diesem Zusammenhang sind die Überprüfung der Prozesslogik auf Vollständigkeit sowie das Testen und Überarbeiten der Gruppierung. Dabei werden in dieser Arbeit keine Änderungen an der Gruppierung vorgenommen, da der Aufbau des Informationsmodells sich nicht durch alternative Abläufe verändert.

Zunächst werden bei diesem Arbeitsschritt die alternativen Abläufe modelliert. Danach werden sie durch die bestehenden Servicekandidaten nachgebaut. Auf diese Weise können fehlende Operationen identifiziert und zu spezielle Funktionen generalisiert werden.

Der erste alternative Prozessablauf betrifft die Stornierung eines Kundenauftrages, der bereits durch das MES eingeplant wurde. Als Erstes müssen aller Fertigungsaufträge identifiziert werden, die zur Umsetzung dieses Bedarfes beitragen. Diese Aufträge müssen nach der Dispositionsstufe sortiert und anschließend der Reihe nach bearbeitet werden. Wurde ein Auftrag bereits abgeschlossen, kann nichts unternommen werden und es wird zum Nächsten übergegangen. Befindet er sich momentan in Bearbeitung, entscheidet ein Mitarbeiter über das weitere Vorgehen. Sind beide Fälle unzutreffend, kann mit der automatischen Bearbeitung begonnen werden.

In diesem Zusammenhang werden zunächst die reservierten Teile im Lager freigegeben. Das weitere Vorgehen hängt von der Planungsstufe ab, in der sich der Fertigungsauftrag befindet. Weiterhin ist entscheidend, ob der Auftrag durch Losbildung mit anderen zusammengefasst wurde. Je nachdem müssen die entsprechenden Reservierungen geändert oder rückgängig gemacht werden. Außerdem wird der Auftrag und die zugehörigen RAG geändert oder gelöscht. Wurden alle Aufträge bearbeitet können die zugehörigen Bedarfe entfernt werden. Der beschriebene Ablauf ist in Abbildung 5.26 dargestellt.

Die modellierten Prozessschritte werden nun den Servicekandidaten zugeordnet. Dabei werden in dieser Arbeit nur Funktionen betrachtet, die mit der Maschinengruppe oder dem Fertigungsauftrag verbunden sind. Weiterhin sind besonders die Prozessschritte interessant, die in dieser Form noch nicht durch Operationskandidaten realisiert wurden. Zur besseren Unterscheidung sind diese Schritte fett gedruckt. Unter den markierten Funktionen ist keine, die mit einem bestehenden Operationskandidaten zusammengeführt werden kann. Aus diesem Grund sind alle Funktionen den Servicekandidaten als neue Operationen hinzuzufügen.

Der nächste alternative Ablauf betrifft die Auftragsfreigabe. Der bisher beschriebene Ansatz geht von einem Prozess aus, der periodisch für einen definierten Freigabezeitraum ausgeführt wird. Die alternative Variante sieht eine ereignisgesteuerte Strategie vor, die als belastungsorientierte Auftragsfreigabe bezeichnet wird. Dazu wird der durchschnittliche Auftragsvorrat einer Maschinengruppe verwendet.

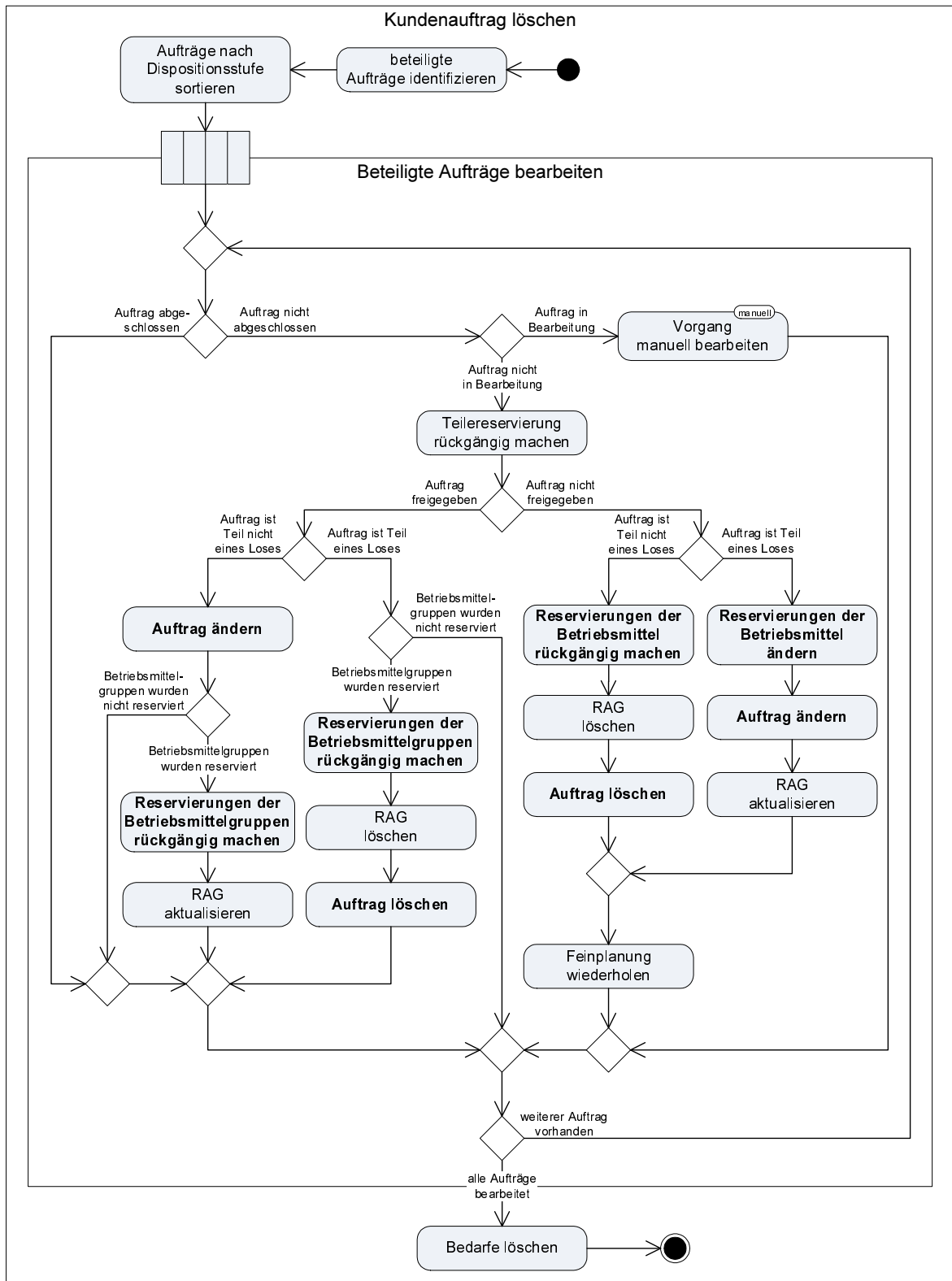


Abbildung 5.26.: Der Ablauf bei der Stornierung eines Kundenauftrages

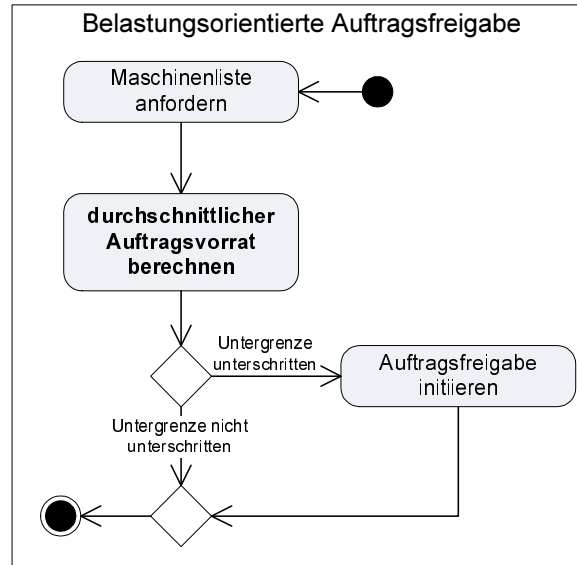


Abbildung 5.27.: Der Ablauf der belastungsorientierten Auftragsfreigabe

Der Arbeitsvorrat umfasst die Aufträge, die vor einer Maschine auf ihre Bearbeitung warten. Dabei wird nicht die Auftragsmenge, sondern die geplanten Bearbeitungsdauer betrachtet. Pro Maschinengruppe werden eine Ober- und eine Untergrenze definiert. Nach der Fertigstellung eines RAG wird dieser Wert aktualisiert. Wird dabei die Untergrenze verletzt, erfolgt der Start der Auftragsfreigabe. Der Ablauf der Freigabe wird dabei nicht verändert. Der beschriebene Prozess ist in Abbildung 5.27 dargestellt. Auch bei diesem Ablauf müssen neue Operationskandidaten erstellt werden, da eine Generalisierung nicht möglich ist.

Abschließend wird eine veränderte Form der periodischen Auftragsfreigabe vorgestellt. Dabei werden für jeden Auftrag, dessen Starttermin im Freigabezeitraum liegt, alle benötigten Betriebsmittelgruppen reserviert. Im Anschluss daran sollen durch das Entfernen möglichst weniger Aufträge alle Engpässe beseitigt werden. Diese Auswahl kann die Prioritäten der Aufträge berücksichtigen. Um zu verhindern, dass bestimmte Aufträge in jedem Zyklus zurückgenommen werden, sind zusätzliche Regeln erforderlich. Beispielsweise kann festgelegt werden, dass jeder Auftrag nur einmal aus der Freigabemenge entfernt werden darf. Der beschriebene Ablauf ist in Abbildung 5.28 zu sehen. Dadurch, dass das Zurücknehmen von Freigaberesservierungen schon während der letzten Phase als Operationskandidat identifiziert wurde, werden in diesem Fall keine neuen Funktionen benötigt.

Mit diesem Beispiel soll die Betrachtung alternativer Prozessabläufe abgeschlossen werden. Da kein reales Unternehmen als Vorbild zur Verfügung steht und daher auch keine Wissensträger in den Entwurfsprozess eingebunden werden können, sind die alternativen Abläufe ähnlich spekulativ wie die potentiellen Funktionen. Durch die betrachteten Abläufe sollte vielmehr das allgemeine Vorgehen erläutert werden. Die Servicekandidaten, die als Ergebnis dieses Arbeitsschrittes erstellt wurden, sind in den Abbildungen 5.29 und 5.30 dargestellt.

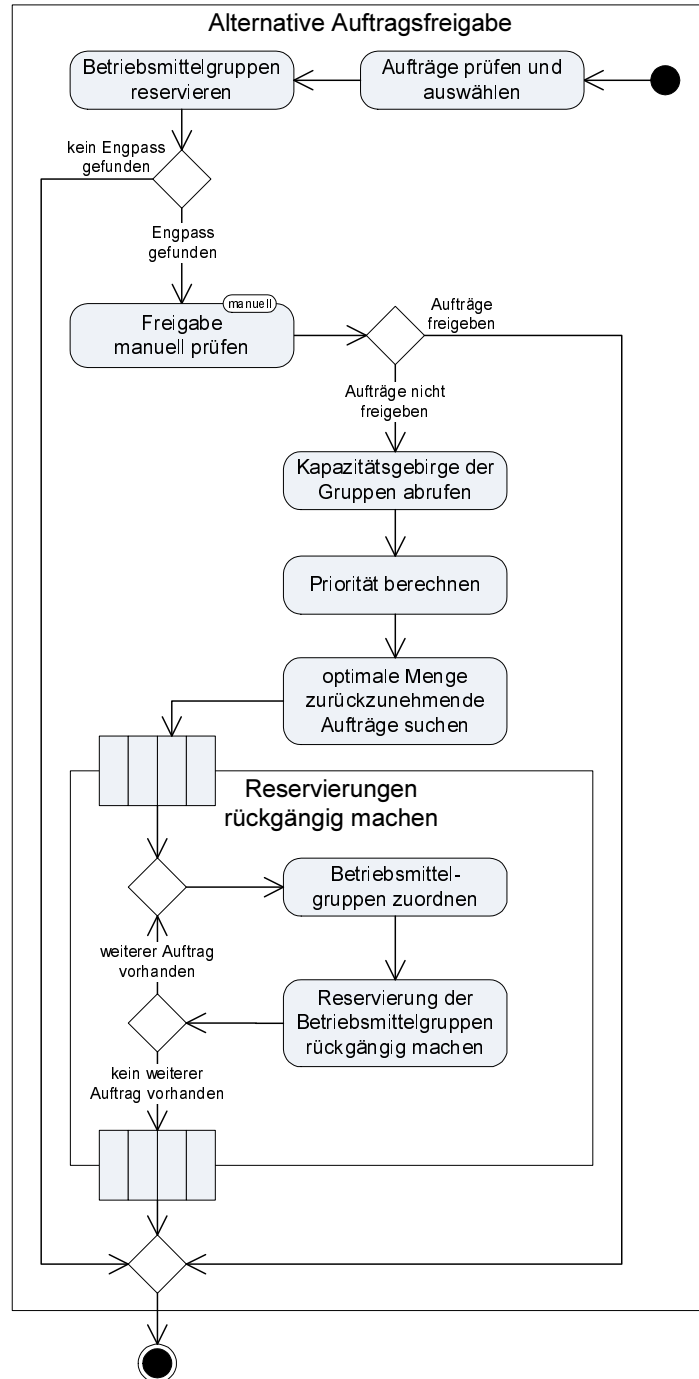


Abbildung 5.28.: Der alternative Ablauf zur periodischen Auftragsfreigabe



Abbildung 5.29.: Die Maschinengruppe nach der Betrachtung der alternativen Abläufe

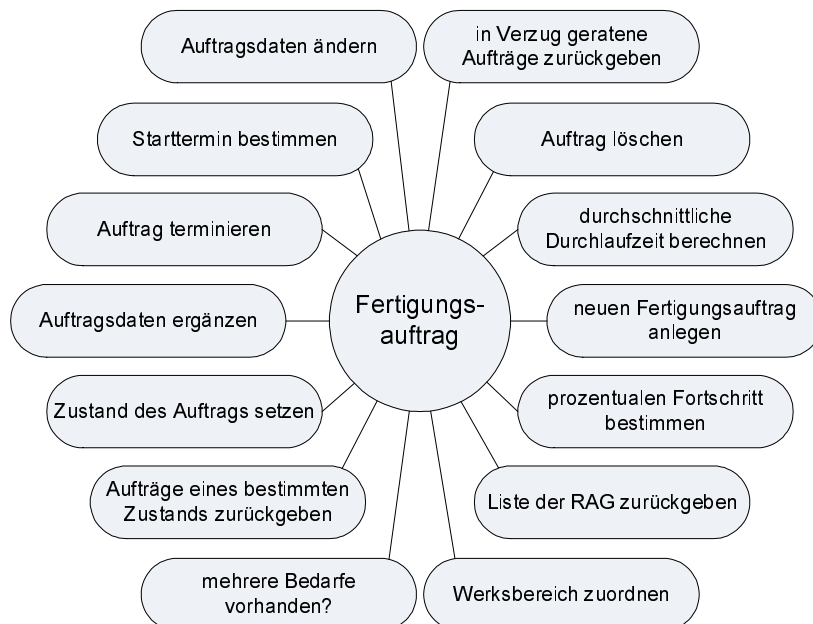


Abbildung 5.30.: Der Fertigungsauftrag nach der Betrachtung der alternativen Abläufe

5.4.5. Untersuchung des Zustandsautomaten der Geschäftsobjekte

Die serviceorientierte Analyse wird mit der Untersuchung des Zustandsautomaten der einzelnen Geschäftsobjekte abgeschlossen. Dadurch sollen die Operationen der Servicekandidaten auf Vollständigkeit überprüft werden. Zu diesem Zweck werden zunächst die Objektzustände identifiziert. Anschließend erfolgt eine Untersuchung der Zustandsübergänge. Dabei werden nur sinnvolle Übergänge modelliert. Jeder Übergang wird durch eine bestimmte Operation ausgelöst. Die auf diese Weise identifizierten Operationen müssen durch die Servicekandidaten angeboten werden. Fehlende Funktionen geben dabei Hinweise zur Nachbearbeitung. Der beschriebene Arbeitsschritt wurde der Methode aus Kapitel 3.8. entnommen.

Bezogen auf die untersuchten Services lassen sich nur für den Fertigungsauftrag sinnvolle Zustände definieren. Das liegt vor allem daran, dass nur für ihn ein Lebenszyklus beschrieben werden kann. Jeder Fertigungsauftrag wird für einen speziellen Bedarf erstellt. Er wird nach der Fertigstellung nicht erneut verwendet. Die Maschinengruppe hingegen wird permanent für die Produktionsplanung eingesetzt. Dabei hat eine Maschinengruppe keinen klar definierten Zustand.

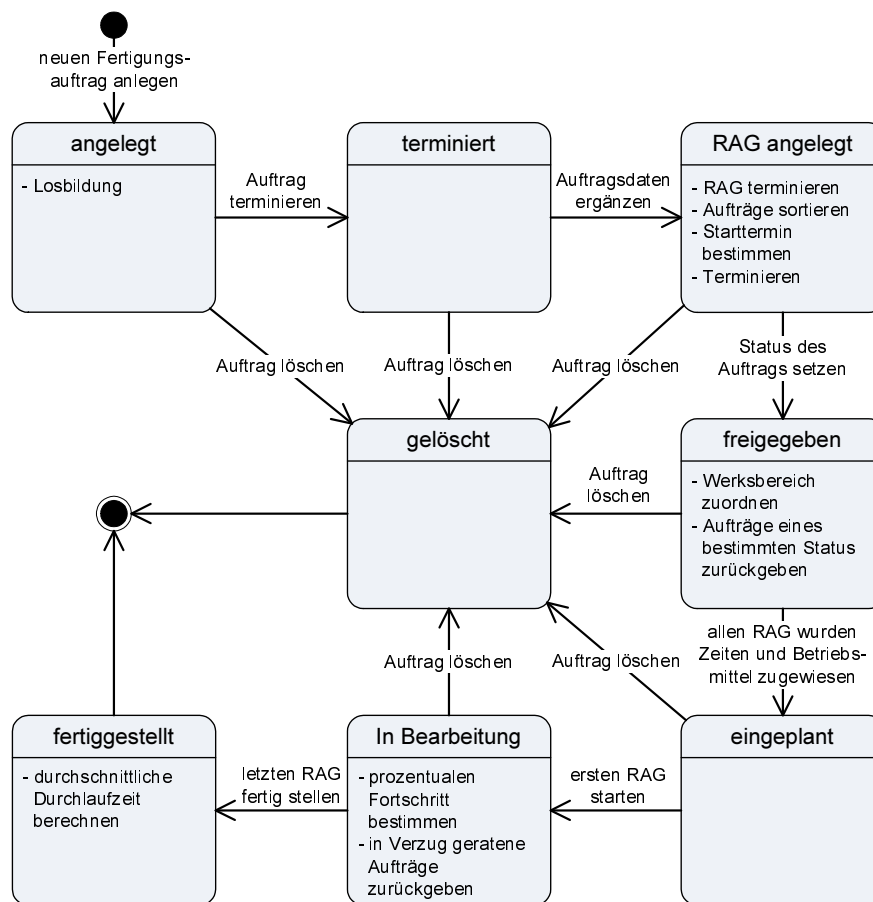


Abbildung 5.31.: Der Zustandsautomat des Fertigungsauftrages

Für den Fertigungsauftrag lassen sich acht verschiedene Zustände identifizieren, die seinen Lebenszyklus beschreiben. Dieser Zyklus beginnt mit der Auftragserstellung. Hierbei können mehrere Aufträge während der Losbildung zusammengefasst werden. Anschließend werden die

ersten groben Termine für den Auftrag festgelegt. Dabei geht er in den Zustand *terminiert* über. Mit der Ergänzung der Auftragsdaten wechselt der Fertigungsauftrag in den Zustand *RAG angelegt*. In diesem Zustand können die RAG terminiert und so die Planung des Auftrags verfeinert werden. Mit der Auftragsfreigabe wechselt der Auftrag in den Zustand *freigegeben*. In diesem Zusammenhang wird er einem Werksbereich zur Feinplanung zugeordnet. Nachdem jeder RAG des Auftrags eingeplant und die entsprechenden Betriebsmittel reserviert wurden, wechselt er in den Zustand *eingeplant*. Damit ist die Produktionsplanung abgeschlossen. Sobald der erste RAG gestartet wird, befindet sich der Auftrag *in Bearbeitung*. Dabei wird der prozentuale Fortschritt berechnet und in Verzug geratene Aufträge bestimmt. In jedem dieser ersten sechs Zustände kann es zu einer Löschung des Auftrags kommen, beispielsweise wenn ein Kundenauftrag storniert wird. In diesem Fall geht der Auftrag in den Zustand *gelöscht* über. Mit der Fertigstellung des letzten RAG wechselt auch der Fertigungsauftrag in den Zustand *fertiggestellt*. Der beschriebene Lebenszyklus ist in Abbildung 5.31 dargestellt.

Die Analyse des Zustandsautomaten wird mit dem Ergebnis abgeschlossen, dass alle benötigten Operationen vorhanden sind. Allerdings werden einige Zustandsübergänge durch Operationen anderer Services ausgelöst. Dabei müssen Mechanismen für die Integritätskontrolle eingeplant werden. Beispielsweise darf ein RAG nur in den Zustand *in Bearbeitung* wechseln, wenn sich auch der dazugehörige Fertigungsauftrag in diesem Zustand befindet. Diese Überlegungen müssen später bei der Designphase berücksichtigt werden.

5.5. Beschreibung der Servicekandidaten und Entwicklung ihrer Schnittstellen

Mit der Untersuchung des Zustandsautomaten ist der Serviceentwurf abgeschlossen. Damit wurden die exemplarisch entworfenen Servicekandidaten Fertigungsauftrag und Maschinengruppe vervollständigt. Um diese Kandidaten in den weiteren Phasen der Softwareentwicklung umsetzen zu können, müssen die Ergebnisse der serviceorientierten Analyse optimal dokumentiert werden. Zu diesem Zweck werden die Schnittstellen der Services im Folgenden mittels *Design by Contract* entwickelt.

Zunächst sollen die Elemente der Methode *Design by Contract* beschrieben werden. Ziel dabei ist es, das Zusammenspiel unterschiedlicher Komponenten zu organisieren. Zu diesem Zweck werden formale Verträge zur Verwendung der Schnittstelle entworfen. Diese Verträge enthalten folgende Elemente:

1. Invarianten: Invarianten beschreiben durch logische Aussagen den konsistenten Zustand des Service. Dabei werden Bedingungen formuliert, die vor und nach der Ausführung der Operationen erfüllt sein müssen.
2. Operationen:
 - a) Ein- und ausgehende Daten: Die Ein- und Ausgehende Daten werden fachlich durch Geschäftsobjekte beschrieben.

- b) Beschreibung der Funktionalität: Auf fachlicher Ebene wird beschrieben, wie die Operation intern umgesetzt wird. Auf dieser Basis kann bei weiteren Serviceentwurfsphasen entschieden werden, ob bestimmte Funktionalität bereits existieren.
- c) Vorbedingungen: Vorbedingungen sind logische Ausdrücke, die sich auf die eingehenden Daten beziehen. Mit ihnen werden Bedingungen beschrieben, unter welchen die Operation aufgerufen werden kann.
- d) Nachbedingungen: Nachbedingungen beschreiben ebenfalls durch logische Ausdrücke das Ergebnis der Operation. Dadurch wird dem Aufrufer beschrieben, was er von dem Aufruf erwarten kann.

Die Schnittstellen der Servicekandidaten Maschinengruppe und Fertigungsauftrag sind in den Abbildungen 5.32 und 5.33 als UML-Diagramme dargestellt. Weiterhin befindet sich in den Tabellen 5.1 und 5.2 beispielhaft die Beschreibung zweier Operationen mittels *Design by Contract*. Die komplette Schnittstellenbeschreibung ist im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Auslastungsgebirge erstellen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Auslastungsgebirge

Beschreibung:

Die bei der Reservierung beschriebene Liste enthält alle Reservierungen der Maschinengruppe für den Planungszeitraum. Aus diesen Daten wird nun das Auslastungsgebirge erstellt. Zu diesem Zweck wird für jede Periode die benötigte Kapazität aufsummiert. Anschließend wird berechnet, wieviel Prozent von der Gesamtkapazität die Summe ausmacht. Das Auslastungsgebirge ist eine Liste der Perioden des Planungszeitraums, denen jeweils eine prozentuale Auslastung zugeordnet ist. Dabei kann diese Auslastung durchaus über 100 Prozent liegen.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Für jede Periode des Planungszeitraums gibt es einen Eintrag im Auslastungsgebirge.
- Für jeden dieser Einträge liegt ein Prozentsatz vor.
- Dieser Prozentsatz entspricht dem prozentualen Anteil der für die Periode reservierten Kapazität von der Gesamtkapazität.
- Dieser Prozentsatz ist größer als null.

Tabelle 5.1.: Die Operation *Auslastungsgebirge erstellen* der Maschinengruppe

Prozentualen Fortschritt bestimmen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Prozentsatz

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird die Liste der RAG des Auftrags aufgerufen. Danach wird der Zustand jedes RAG abgefragt. Es werden die RAG gezählt, die bereits abgeschlossen sind. Anschließend wird der prozentuale Anteil der fertiggestellten RAG an der Gesamtanzahl berechnet. Dieser Wert wird schließlich zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Der Auftrag muss sich im Status *in Bearbeitung* befinden.

Nachbedingung:

- Es wurde ein prozentualer Wert übergeben, der den Anteil der fertiggestellten RAG an allen RAG des entsprechenden Auftrags repräsentiert.

Tabelle 5.2.: Die Operation *Prozentualen Fortschritt bestimmen* des Fertigungsauftrages

Die Schnittstellenbeschreibung vervollständigt die fachliche Dokumentation des Produktionsprozesses, die weiterhin die Geschäftsprozessmodellierung und das Geschäftsinformationsmodell enthält. Dadurch wird beschrieben, wie die Umsetzung der Prozesse auf Basis der Services erfolgt. Daneben wurden die fachlichen Operationen der Services spezifiziert. Mit diesen Voraussetzungen kann ein MES entwickelt werden, das den gestellten Anforderungen gerecht wird.

5.6. Zusammenfassung der verwendeten Entwurfsmethode

Nachdem die Servicekandidaten entworfen und die Schnittstellen entwickelt wurden, soll abschließend die verwendete Methode zusammengefasst werden. Die einzelnen Tätigkeiten wurden während der Durchführung detailliert beschrieben. Daher sollen an dieser Stelle lediglich die Arbeitsschritte mit den jeweils relevanten Zielen im Überblick aufgeführt werden. In Abbildung 5.34 ist die beschriebene Übersicht dargestellt.

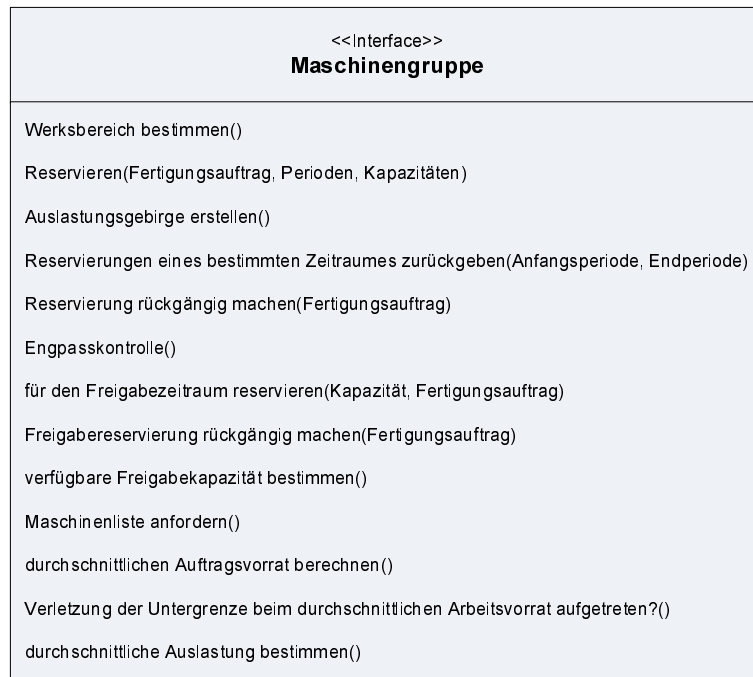


Abbildung 5.32.: Das UML-Diagramm der Schnittstelle der Maschinengruppe



Abbildung 5.33.: Das UML-Diagramm der Schnittstelle des Fertigungsauftrages

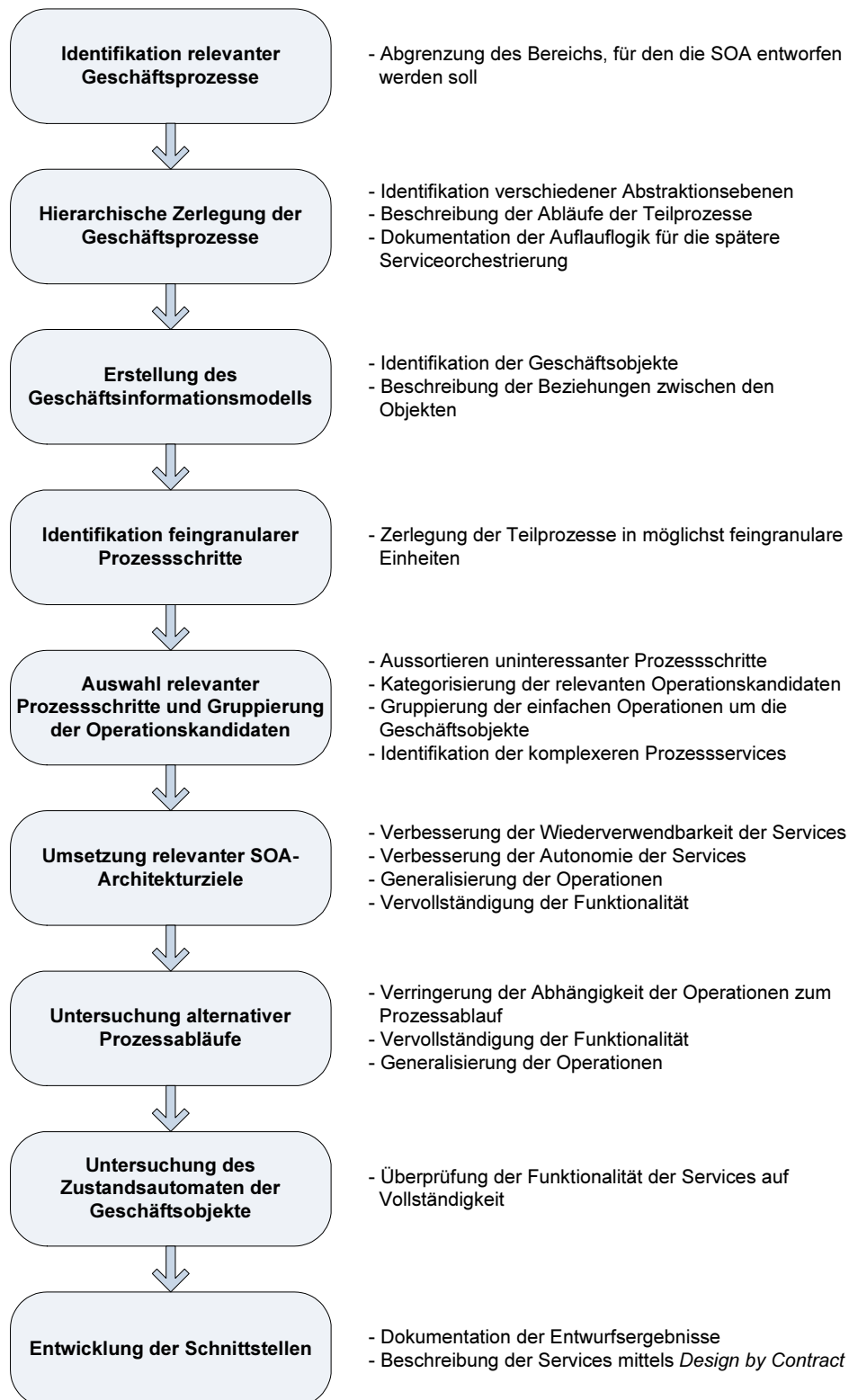


Abbildung 5.34.: Die Arbeitsschritte der verwendeten Entwurfsmethode

5.7. Bewertung der Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES anhand des Serviceentwurfs

5.7.1. Bewertung der Umsetzung der Architekturziele

In diesem Abschnitt sollen die angewendete Entwurfsmethode und die erstellten Servicekandidaten auf die Umsetzung der in Kapitel 2 abgeleiteten Architekturziele untersucht werden. Dabei wird für jedes Ziel einzeln überprüft, durch welche konkreten Arbeitsschritte es verbessert wurde.

Lose Kopplung

Die lose Kopplung umfasst zwei Aspekte. Der erste Gesichtspunkt beschreibt die Abhängigkeit zwischen den Services. Diese Eigenschaft wurde gezielt durch die Betrachtung alternativer Prozessabläufe und potentieller Nutzer verbessert. Weiterhin wirkt sich die Verwendung der Informationsobjekte als Gruppierungskontext positiv aus. Durch diese Maßnahmen wird die Abhängigkeit von einem bestimmten Geschäftsprozessablauf und damit auch die Kopplung der Services untereinander verringert.

Der zweite Aspekt beschreibt die Art und Weise der Kopplung. Dabei sollen sich Services untereinander nur an die Schnittstelle und nicht an die Implementierung des anderen koppeln. Für dieses Ziel wird der Grundstein während der Analysephase gelegt. Die Servicekandidaten werden dabei fachlich orientiert entworfen und beschrieben. Der Datenaustausch erfolgt ausschließlich über technologieunabhängige Geschäftsobjekte. Um die lose Kopplung an dieser Stelle zu erreichen, müssen die Spezifikationen während der Designphase entsprechend umgesetzt werden.

Abstraktion

Das Architekturziel Abstraktion fordert das Verbergen der Implementierungsdetails. Diese Details werden jedoch erst in der Designphase und während der Implementierung spezifiziert. Aus diesem Grund hat die serviceorientierte Analyse nur bedingt Einfluss auf dieses Ziel. Jedoch wird die Grundlage durch die fachliche Definition der Funktionalität und die Modellierung der Informationsflüsse durch technologieunabhängige Geschäftsobjekte geschaffen. Werden diese Vorgaben durch eine saubere Implementierung umgesetzt, ist eine gute Abstraktion erreicht.

Ein weiterer Aspekt dieses Ziels ist die Unterscheidung verschiedener Abstraktionsebenen. Dabei werden jeweils bestimmte Eigenschaften der darunterliegenden Schicht abstrahiert. Durch die Identifikation der Funktionsgruppen und die hierarchische Zerlegung des Geschäftsprozesses wurden bei dem Serviceentwurf genau solche Ebenen geschaffen.

Wiederverwendbarkeit

Wiederverwendbarkeit ist ein Kernaspekt sowohl bei der SOA als auch bei dem durchgeführten Serviceentwurf. Die Schaffung agnostischer Logik war in vielen Arbeitsschritten ein zentrales

Ziel. Unter anderem wurde es bei der Untersuchung alternativer Prozessabläufe verfolgt.

Weiterhin wurde die Funktionalität der Services beispielsweise durch die Betrachtung potentieller Nutzer vervollständigt. Durch die Gruppierung der Geschäftsfunktionen um systemweit eindeutige Geschäftsobjekte wurde eine Ballung ähnlicher Funktionen erreicht. Auf dieser Basis wurden Möglichkeiten der Generalisierung untersucht und gegebenenfalls Operationskandidaten zusammengeführt.

Im Zusammenhang mit der Wiederverwendbarkeit ist eine einheitliche Semantik besonders wichtig. Nur wenn alle beteiligten Mitarbeiter dasselbe Verständnis der Services haben, können redundante Funktionen vermieden werden. Aus diesem Grund wurde während des Entwurfs auf eine einheitliche Begriffswelt geachtet. Außerdem wurde das Geschäftsinformationsmodell zur Gruppierung und Beschreibung der Services verwendet. Dadurch wurde die Grundlage geschaffen, so dass aus der potentiellen Wiederverwendbarkeit eine reale Wiederverwendung wird.

Zustandslosigkeit

Das Prinzip der Zustandslosigkeit kann nur sehr begrenzt innerhalb der Analysephase beeinflusst werden. Die beschriebene Minimierung der Abhängigkeit der Servicekandidaten von dem Prozessablauf ist ein geeignetes Mittel. Dadurch werden die notwendigen Informationen zum Ablauf des Prozesses reduziert. Weiterhin schafft die Betrachtung der Autonomie während des Serviceentwurfs eine gute Grundlage für Zustandslosigkeit. Allerdings ist ein Hauptanliegen des Prinzips, dass der zustandsbehaftete Zeitraum minimiert wird. Diese Forderung kann jedoch erst bei der Implementierung umgesetzt werden. Beispielsweise kann dies durch die Minimierung der Laufzeit realisiert werden. Bei der Kombination von Services können weiterhin die benötigten Daten erst möglichst kurz vor deren Nutzung angefordert werden.

Fachliche Orientierung

Die fachliche Orientierung fordert, dass die Services aus den vorhandenen Geschäftsprozessen abgeleitet werden. Diese Forderung wurde während der Analysephase vollständig umgesetzt. Weiterhin wurde durch die Betrachtung der alternativen Abläufe und potentieller Nutzer die Funktionalität auf fachlicher Ebene vervollständigt und generalisiert. Mit den modellierten Geschäftsprozessen und dem Geschäftsinformationsmodell liegt zudem eine einheitliche fachliche Beschreibung der Abläufe vor. Die detaillierte Schnittstellendefinition schließt den Kreis und erläutert, durch welchen Servicekandidaten diese Abläufe umgesetzt werden.

Ausgewogene Granularität

Die Ausgewogenheit der Granularität kann aus zwei Richtungen betrachtet werden. Zum einen sollten die Services nicht zu speziell an einen Anwendungsfall angepasst werden. Dieses Ziel wird durch das Herauslösen der Services aus dem Prozessablauf und der Generalisierung der Operationen erreicht. Andererseits sollten die identifizierten Services nicht zu groß sein. Das wird erreicht, indem die Geschäftsprozesse in möglichst feingranulare fachliche Bestandteile

zerlegt werden. Die dadurch identifizierten Geschäftsfunktionen müssen aber immer noch einen ausreichenden Beitrag zur Wertschöpfung leisten.

Ein weiteres Kriterium der ausgewogenen Granularität ist eine einheitliche Servicegröße innerhalb der Geschäftsserviceschicht. Dieses Ziel wird während der serviceorientierten Analyse durch die hierarchische Zerlegung der Geschäftsprozesse und die Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte unterstützt.

Die Untersuchung der Architekturziele auf ihre Umsetzung im Rahmen der serviceorientierten Analyse hat gezeigt, dass sich eine SOA zur Umsetzung eines MES eignet. Allerdings wurde auch festgestellt, dass die Entwurfsentscheidungen in den weiteren Phasen der Softwareentwicklung berücksichtigt werden müssen. Nur dadurch wird das erwünschte Ziel erreicht.

5.7.2. Bewertung der Umsetzung der MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur

Abschließend wird der erstellte Serviceentwurf auf die Umsetzung der MES-Anforderungen an die Softwarearchitektur bewertet. In diesem Zusammenhang ist besonders die Flexibilität der Geschäftsprozesse hervorzuheben. Durch die verschiedenen Methoden zur Verringerung der Abhängigkeit der Services zum Prozessablauf sowie zur Vervollständigung und Generalisierung der Operationskandidaten wurde eine Servicestruktur geschaffen, die genau diese Flexibilität bietet. Der modulare Aufbau wiederum wird durch die Zerlegung der Funktionalität in disjunkte Funktionsblöcke unterstützt. Durch Zuordnung der Services zu diesen Blöcken entstehen Komponenten mit abgeschlossener Funktionalität und definierten Schnittstellen. Weiterhin erfüllt das Geschäftsinformationsmodell die Forderung nach einheitlichen, standardisierten Datenobjekten. Diese Objekte werden zur Gruppierung der Operationen und zur Beschreibung der Schnittstellen verwendet. Auf diese Weise wird auch eine systemweit einheitliche Semantik geschaffen. Außerdem wird dadurch eine zentrale Datenhaltung unterstützt. Das beinhaltet allerdings nicht eine zentrale Speicherung, sondern nur einen einheitlichen Zugriff auf hoher Abstraktionsebene. Im Gegensatz zu den genannten Anforderungen können die Integration von Fremdsystemen und die Bereitstellung standardisierter Schnittstellen nur teilweise durch den fachlichen Entwurf berücksichtigt werden. Beispielsweise wurde innerhalb der Funktionsblöcke eine zentrale Kapselung der verschiedenen Schnittstellentechnologien vorgesehen. Der Hauptteil der Forderungen muss allerdings durch die Auswahl einer geeigneten Infrastruktur während der Designphase umgesetzt werden.

6. Fazit und Ausblick

In dieser Diplomarbeit wurde untersucht, ob sich eine SOA zur Umsetzung eines MES eignet. Dabei konnte bereits durch die Betrachtung beider Konzepte nachgewiesen werden, dass viele Gemeinsamkeiten und Synergien existieren. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde die Eignung an einem exemplarischen Serviceentwurf belegt. Für diese konkrete Untersuchung wurden zunächst Anforderungen an ein MES identifiziert, die durch die zugrundeliegende Softwarearchitektur erfüllt werden müssen. Daraus wurden schließlich relevante SOA-Architekturziele abgeleitet, die durch den fachlichen Serviceentwurf umgesetzt werden sollten.

Zu diesem Zweck wurden relevante, serviceorientierte Entwurfsmethoden vorgestellt und auf ihre Unterstützung der abgeleiteten Ziele bewertet. Für den Serviceentwurf wurden schließlich Aspekte von verschiedenen Methoden kombiniert. Als Grundlage für den exemplarischen Fachentwurf wurden disjunkte Funktionsgruppen eines MES abgeleitet. Durch die Beschreibung der Funktionalität dieser Gruppen konnte das MES von den anderen Ebenen der Unternehmenssoftware abgegrenzt werden.

Im Sinne der fachlichen Orientierung einer SOA erfolgte der Serviceentwurf auf Basis der Geschäftsprozesse. Zu diesem Zweck wurde der Produktionsprozess innerhalb des MES beispielhaft modelliert und beschrieben. Außerdem wurde daraus ein Geschäftsinformationsmodell abgeleitet. Auf dieser Grundlage wurden schließlich Servicekandidaten identifiziert und schrittweise verfeinert. Dabei wurden gezielt die Architekturziele gefördert und verbessert. An dem erstellten fachlichen Serviceentwurf konnte schließlich die besondere Eignung einer SOA zur Umsetzung eines MES nachgewiesen werden.

Im Softwareentwicklungsprozess entspricht der fachliche Serviceentwurf dem Ergebnis der Analysephase. Im Anschluss daran folgen Design und Implementierung. Es ist wichtig, dass während der Analyse getroffene Entscheidungen dabei konsequent umgesetzt werden. Nur so lassen sich die MES-Anforderungen umsetzen, die durch die Softwarearchitektur unterstützt werden. Von diesem Standpunkt aus betrachte, wurde mit dem Serviceentwurf die Basis geschaffen, die durch ein gutes Design und eine guten Implementierung zum gewünschten Ergebnis ausgebaut werden kann. Die untersuchte Eignung muss also noch in den weiteren Phasen der Entwicklung verifiziert werden. Dabei stellt sich die Frage, welche Einschränkungen während der Designphase berücksichtigt werden müssen, und wie die Architekturziele dadurch beeinflusst werden. Außerdem ist zu untersuchen, welche Anforderungen sich für die Auswahl einer geeigneten Infrastruktur ergeben.

Aus Sicht der Praxis stellt besonders die Beschränkung auf die Top-Down-Strategie ein Hindernis dar. Dadurch werden weder vorhandene Legacysysteme noch bestehende Services berücksichtigt. Aus diesem Grund müssen Möglichkeiten untersucht werden, wie Bottom-Up-

Vorgehen in die Entwurfsmethode integriert werden können. Erste Ansätze wurden bereits bei der Beschreibung der Entwurfsmethoden vorgestellt. Weiterhin ist zu untersuchen, ob die entwickelte Servicearchitektur durch konkrete Legacysysteme abgebildet werden kann.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Diplomarbeit ist eine weitere Bearbeitung des Themas in einem realen Unternehmen denkbar. Dabei kann untersucht werden, ob sich reale Produktionsprozesse mit der erstellten Servicearchitektur abbilden lassen. Auf diese Weise kann die Robustheit des Entwurfs überprüft werden. Außerdem könnte der Einfluss der Organisationseinheiten auf den Serviceentwurf analysiert werden.

Eine Motivation für den Einsatz einer SOA ist die Flexibilisierung der Geschäftsprozesse. Durch Neuordnung der beteiligten Services sollen sich Prozessänderungen schnell und ohne spezielles technisches Hintergrundwissen umsetzen lassen. Dieses Ziel soll durch den Einsatz von sogenannten BPM-Werkzeugen (Business Process Management) unterstützt werden. Mithilfe des erstellten Serviceentwurfes könnte untersucht werden, ob der Einsatz solcher Werkzeuge auf MES-Ebene die versprochene Flexibilität ermöglicht.

Im Bereich der Unternehmenssoftware ist zu beobachten, dass die Serviceorientierung innerhalb der anderen Schichten (vgl. Kapitel 2.1.1.) eingeführt wird. Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob eine unternehmensweit einheitliche Abbildung der Geschäftsprozesse über die Schichtgrenzen hinaus möglich ist. Außerdem kann untersucht werden, welche Anforderungen und Einschränkungen sich daraus ergeben und welche Standards bei der Integration helfen.

A. Anhang

A.1. Das Geschäftsinformationsmodell

Geschäftsobjekt	Attribut	Beschreibung
Bedarf	Typ	Verbrauchsbedarf, Kundenauftrag oder Sekundärbedarf
	Liefertermin	Termin, an dem das Teil benötigt wird
	Menge	Benötigte Menge
	Externe Priorität	Externe Wichtung der Aufträge, wird z.B. bei der Reihenfolgebildung verwendet
Teil	Reservierungen	Geplante Abgänge mit Bezug auf den Fertigungsauftrag
	Zugänge	Geplante Zugänge durch Produktion oder Bestellung
	Bestand	Im Lager befindliche Menge
	Puffermenge	Sicherheitsbestand, der nicht verplant werden darf
Stückliste	Gozintograph	Erzeugnisstruktur des Unternehmens, enthält benötigte Mengen an Ausgangsstoffen und durchschnittliche Durchlaufzeiten (als Funktion über der Anzahl zu fertigender Teile)
Arbeitsplan	Reihenfolgen	Anordnungsmöglichkeiten der beteiligten Arbeitsgänge
Arbeitsgang	Durchschnittliche Durchlaufzeit	Funktion über der Anzahl zu fertigender Teile, mit der die Durchlaufzeit eines Arbeitsganges geschätzt werden kann
Qualifikationsgruppe	Verfügbare Kapazität	Nutzbare Anzahl an Kapazitätseinheiten pro Periode
	Reservierungen	Während der Zeit- und Kapazitätsplanung eingeplante Kapazitäten
	Auslastungsgebirge	Geplanter zeitlicher Verlauf der reservierten Kapazitätseinheiten

Geschäftsobjekt	Attribut	Beschreibung
Qualifikationsgruppe	Freigabe-reservierung	Für den jeweiligen freizugebenden Zeitraum noch verfügbare Menge an Kapazitätseinheiten
Werkzeuggruppe	Verfügbare Kapazität	Nutzbare Anzahl an Kapazitätseinheiten pro Periode
	Reservierungen	Während der Zeit- und Kapazitätsplanung eingeplante Kapazitäten
	Auslastungsgebirge	Geplanter zeitlicher Verlauf der reservierten Kapazitätseinheiten
	Freigabe-reservierung	Für den jeweiligen freizugebenden Zeitraum noch verfügbare Menge an Kapazitätseinheiten
Maschinengruppe	Verfügbare Kapazität	Nutzbare Anzahl an Kapazitätseinheiten pro Periode
	Reservierungen	Während der Zeit- und Kapazitätsplanung eingeplante Kapazitäten
	Auslastungsgebirge	Geplanter zeitlicher Verlauf der reservierten Kapazitätseinheiten
	Freigabe-reservierung	Für den jeweiligen freizugebenden Zeitraum noch verfügbare Menge an Kapazitätseinheiten
	Werksbereich	Für die Feinplanung zuständiger Werksbereich bzw. zuständige Plantafel
Mitarbeiter	Status	Aktueller Status des Mitarbeiters (z.B. krank, einsatzbereit, auf Weiterbildung)
	Effizienz	Vergleichswert, der die Produktivität des Mitarbeiters bei den Arbeitsgängen die er ausführen darf, beschreibt
	Abwesenheit	Geplante bzw. geschätzte An- und Abwesenheitszeiten (z.B. Urlaub, Weiterbildung, Krankheit)
	Lohnmodell / Schichtenmodell	Enthält Regelungen zu Arbeitszeiten und den entsprechenden Lohnkosten (Überstunden)
Werkzeug	Status	Aktueller Status des Werkzeugs (z.B. in Verwendung, auf Lager, defekt)
	Lagerort	Lager, in dem das Werkzeug aufbewahrt wird
	Belegungsplan	Zeitliche Abfolge der geplanten Arbeitsgänge
Maschine	Status	Aktueller Status der Maschine (z.B. in Produktion, stillgelegt)

Geschäftsobjekt	Attribut	Beschreibung
Maschine	Rüstzustand	Zustand, auf den die Maschinen gerüstet wurde
	Belegungsplan	Zeitliche Abfolge der geplanten Arbeitsgänge
Prozessdaten- definition	Soll-Wert	Grundlage für den Soll-Ist Vergleich im Rahmen der Analyse
	Typ	Einordnung des Messwertes (z.B. Druck, Temperatur)
	Quelle	Herkunft der Daten (z.B. Interface, Schnittstelle zu einer bestimmten Maschine)
Prozessdaten	Messwert	Im Produktionsprozess gemessener bzw. aufgenommener Wert
Fertigungsauftrag	Termine	z.B. frühester Anfangstermin, spätester Endtermin
	Folgaufträge	Aufträge, die in diesem Auftrag produzierten Teile verwenden
	Kundenaufträge	Kundenaufträge, die mit diesem Fertigungsauftrag verbunden sind
	Status	Aktueller Status des Fertigungsauftrages (z.B. freigegeben, in Bearbeitung)
Realisierten Arbeitsgang (Planung)	Termine	z.B. frühester Anfangstermin, spätester Endtermin
	Nachfolgende Arbeitsgänge	Im Rahmen der Reihenfolgebildung definierte Reihenfolge
Realisierten Arbeitsgang (Durchführung)	Zeiten	z.B. Anfangszeit, Endzeit, Dauer
	Produktions- kennzahlen	Für diesen speziellen Arbeitsgang in der Analyse berechnete Kennzahlen
Die Geschäftsobjekte <i>konkreter Arbeitsgang</i> und <i>Qualitätsprüfung</i> enthalten keine für die Modellierung des Produktionsprozesses relevanten Attribute.		

Tabelle A.1.: Die wichtigsten Attribute der identifizierten Geschäftsobjekte

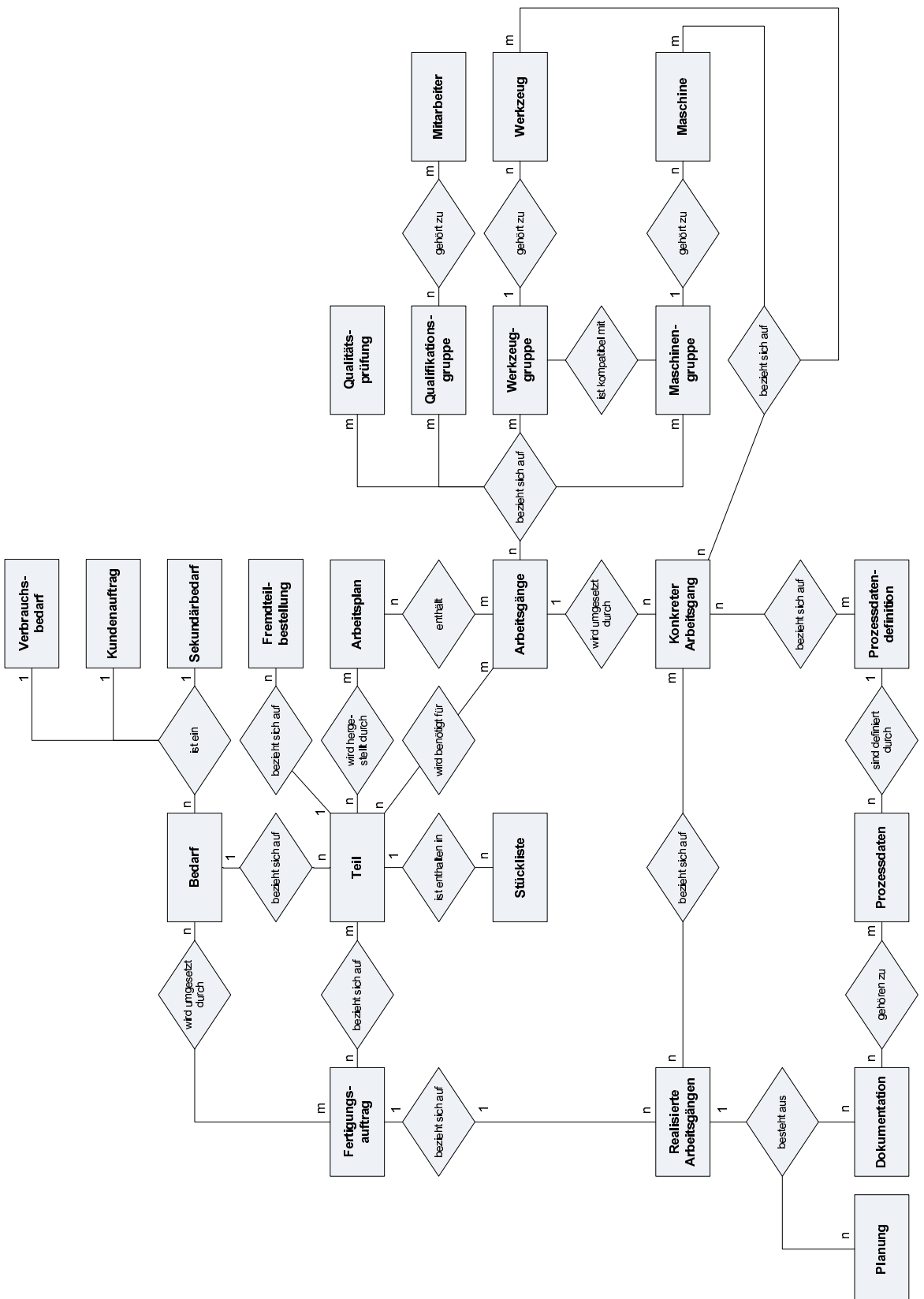


Abbildung A.1.: Das Informationsmodell für den Produktionsprozess

A.2. Die Gruppierung der Operationen zu Servicekandidaten

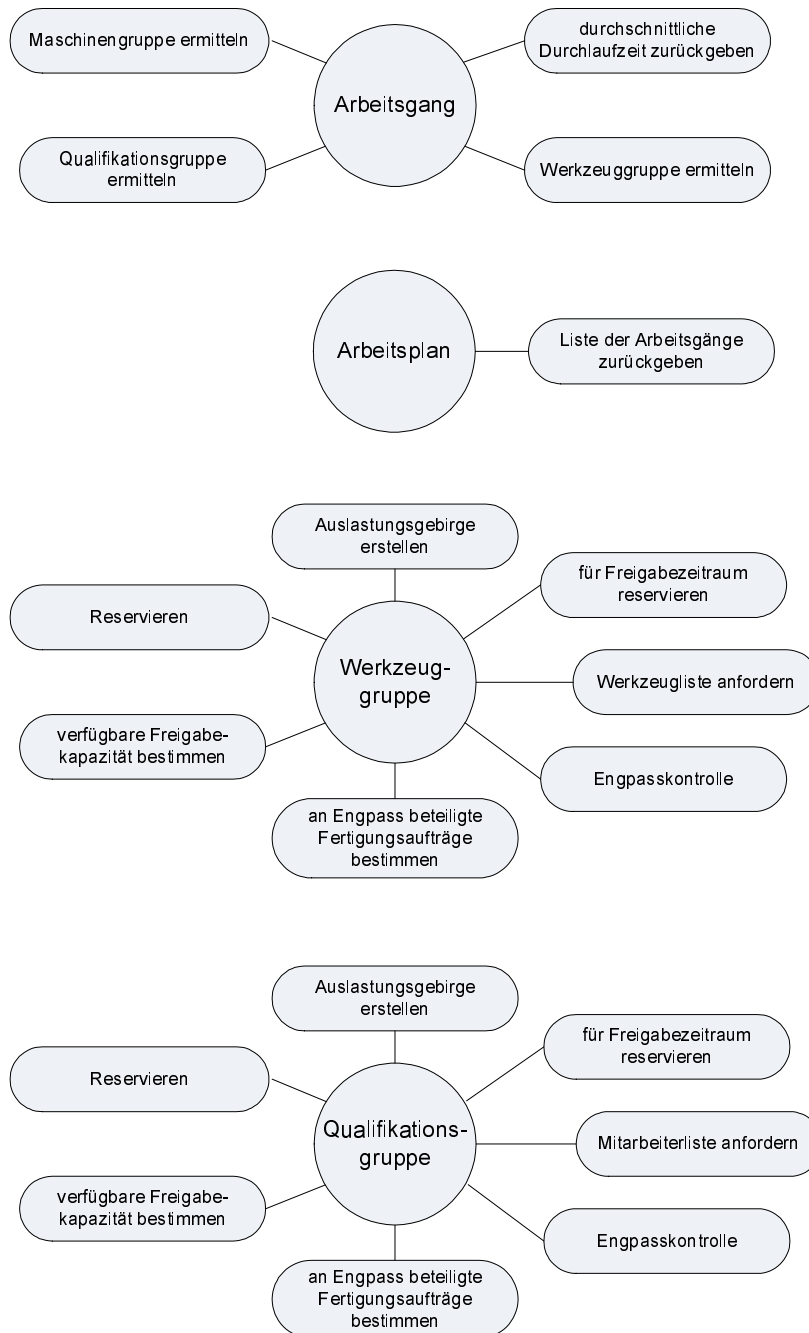


Abbildung A.2.: Die Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 1 / 3

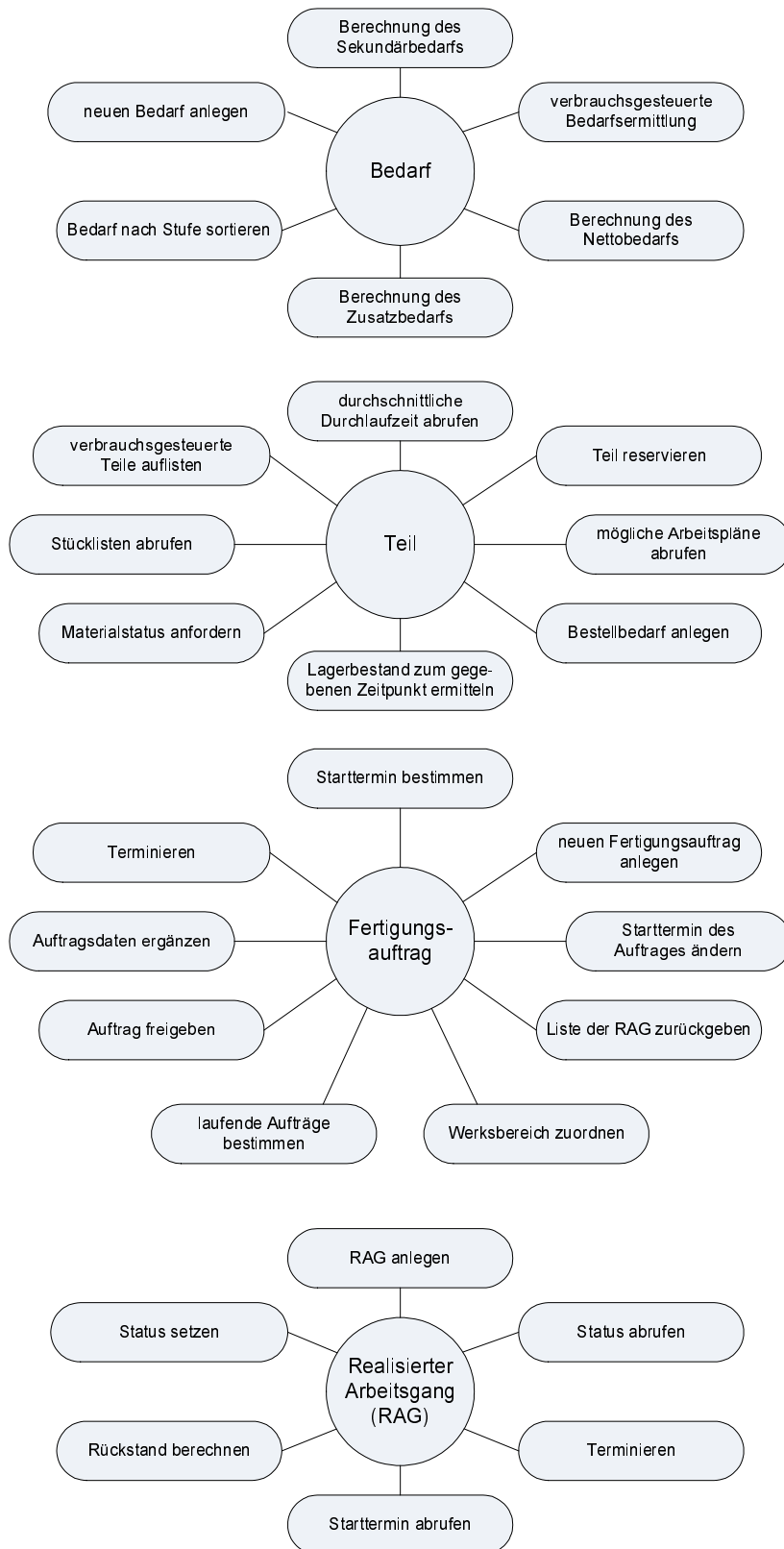


Abbildung A.3.: Die Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 2 / 3

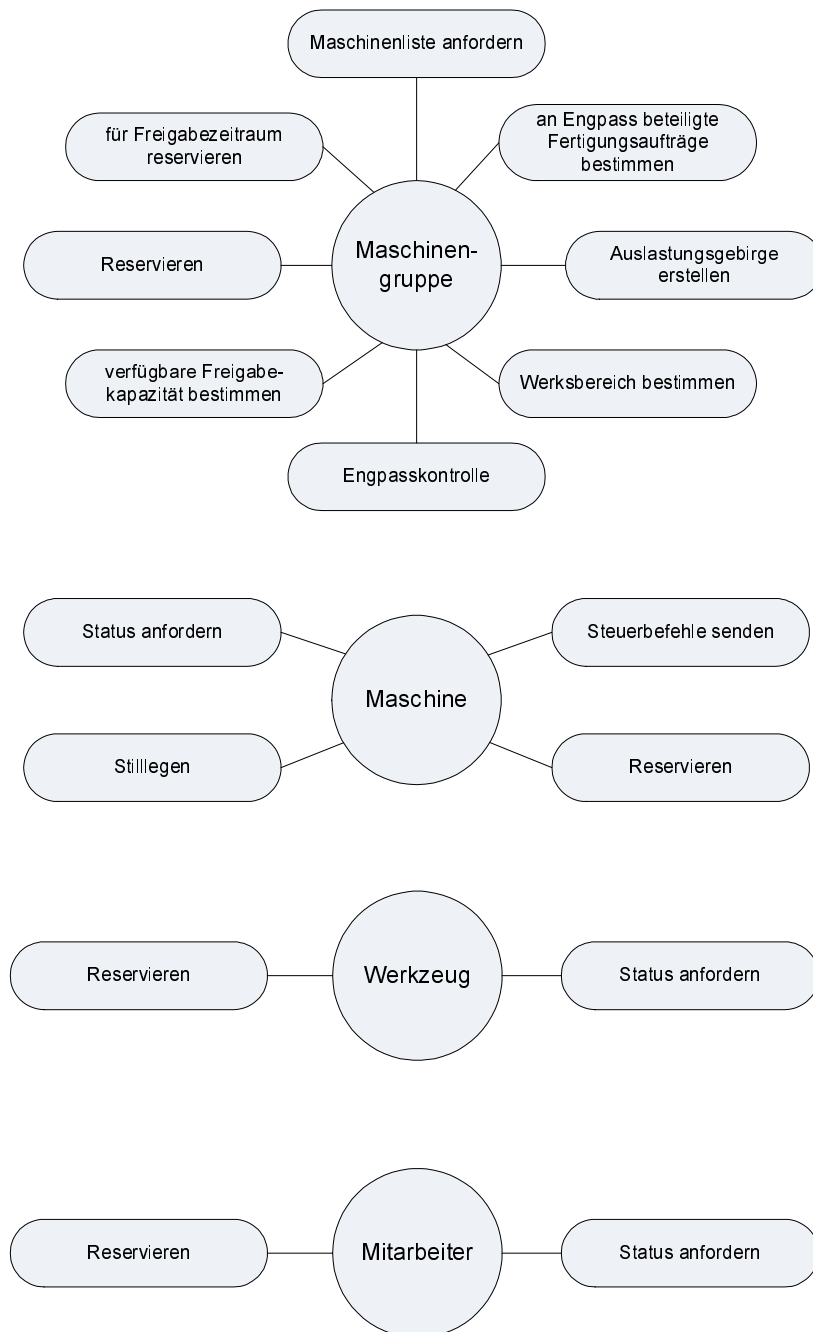


Abbildung A.4.: Gruppierung der Operationen um die Geschäftsobjekte - Teil 3 / 3

A.3. Der Servicekandidat Maschinengruppe

A.3.1. Invarianten

- Intern muss ein Werksbereich definiert und gesetzt sein.
- Die interne Reservierungsliste enthält für jeden Eintrag einen Fertigungsauftrag, eine Periodenliste und die benötigten Kapazitäten.
- Einträge der internen Reservierungsliste liegen in der Zukunft und außerhalb des kurzfristigen Planungszeitraums, haben eine positive benötigte Kapazität und einen existierenden Fertigungsauftrag.
- Für die Reservierung wurde intern eine prozentuale Grenzauslastung definiert, die zwischen null Prozent und 100 Prozent liegt.
- Für die Maschinengruppe wurde intern eine Gesamtkapazität definiert. Diese Kapazität entspricht der Summe der Kapazitäten der enthaltenen Maschinen.
- Es ist eine interne Freigabereservierungsliste vorhanden.
- Einträge der internen Freigabereservierungsliste enthalten einen existierenden Fertigungsauftrag und eine Kapazitätsmenge, die größer als null ist.
- Es gibt eine verfügbare Freigabekapazität, die intern gepflegt wird.
- Die Freigabereservierungsliste wird nach dem Abschluss jedes Freigabezykluses gelöscht. Dabei wird die verfügbare Freigabekapazität wieder auf die Gesamtkapazität gesetzt.
- Intern wird eine Liste von Maschinen verwaltet.
- Die Maschinenliste darf nicht leer sein.
- Jede der Maschinen auf der Maschinenliste muss vorhanden sein.
- Es muss intern eine Untergrenze für den durchschnittlichen Auftragsvorrat gespeichert werden.
- Diese Untergrenze muss größer oder gleich null sein.

A.3.2. Beschreibung der Operationen

Werksbereich bestimmen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Werksbereich

Beschreibung:

Der Werksbereich wird durch die Maschinengruppe definiert. Bei der Auftragsfreigabe muss der Auftrag einem bestimmten Bereich zugewiesen werden.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung: Werksbereich wurde zurückgegeben.

Reservieren

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag, Perioden, Kapazitäten

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Für die mittelfristige Planung wird innerhalb der Maschinengruppe eine Liste der Fertigungsaufträge verwaltet, deren Ausführung den Einsatz von Maschinen dieser Gruppe erfordert. Beim Reservieren wird dieser Liste ein neuer Auftrag hinzugefügt. Neben dem Verweis auf den Fertigungsauftrag wird der geplante Zeitraum in Form bestimmter Perioden sowie die benötigte Kapazitätsmenge übergeben und gespeichert. Jeder dieser Einträge reserviert für eine bestimmte Zeit und eine bestimmte Kapazitätsmenge die Maschinengruppe. Dabei erfolgt keine Untersuchung, ob für den geplanten Zeitraum eine Überschreitung der Gesamtkapazität der Gruppe vorliegt.

Vorbedingung:

- Es wird ein Fertigungsauftrag übergeben.
- Die Periodenliste enthält mindestens eine Periode.
- Der übergebene Fertigungsauftrag ist vorhanden.
- Perioden liegen in der Zukunft und außerhalb des kurzfristigen Planungszeitraums.
- Benötigte Kapazitäten sind größer als null.

Nachbedingung:

- Der Fertigungsauftrag mit den Perioden und den Kapazitäten wurde als Eintrag in der Reservierungsliste aufgenommen.

Auslastungsgebirge erstellen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Auslastungsgebirge

Beschreibung:

Die bei der Reservierung beschriebene Liste enthält alle Reservierungen der Maschinengruppe für den Planungszeitraum. Aus diesen Daten wird nun das Auslastungsgebirge erstellt. Zu diesem Zweck wird für jede Periode die benötigte Kapazität aufsummiert. Anschließend wird berechnet, wieviel Prozent von der Gesamtkapazität die Summe ausmacht. Das Auslastungsgebirge ist eine Liste der Perioden des Planungszeitraums, denen jeweils eine prozentuale Auslastung zugeordnet ist. Dabei kann diese Auslastung durchaus über 100 Prozent liegen.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Für jede Periode des Planungszeitraums gibt es einen Eintrag im Auslastungsgebirge.
- Für jeden dieser Einträge liegt ein Prozentsatz vor.
- Dieser Prozentsatz entspricht dem prozentualen Anteil der für die Periode reservierten Kapazität von der Gesamtkapazität.
- Dieser Prozentsatz ist größer als null.

Reservierungen eines bestimmten Zeitraumes zurückgeben

Eingehende Daten: Anfangsperiode, Endperiode

Ausgehende Daten: Liste der Aufträge (jeweils mit geplanten Perioden und der Kapazität)

Beschreibung:

Der Operation wird in Form von Anfangs- und Endperiode ein Zeitraum übergeben. Die Liste der Reservierungen wird nun durchsucht. Alle Aufträge, die in dem Zeitraum Reservierungen vorgenommen haben, werden in die Rückgabeliste eingefügt. Diese Liste ist gleich der Reservierungsliste, das heißt, sie enthält auch die Perioden und die benötigten Kapazitäten. Nach Abschluss der Suche wird die Ergebnisliste zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Die Anfangsperiode liegt vor der Endperiode.
- Die Anfangsperiode liegt in der Zukunft und außerhalb des kurzfristigen Planungszeitraums.

Nachbedingung:

- Die Übergebene Liste enthält Elemente der Reservierungsliste.
- Die Liste enthält alle Einträge, bei denen zumindest ein Teil der Perioden im übergebenen Zeitraum liegt.

Reservierung rückgängig machen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Die Reservierungsliste wird durchsucht. Alle Einträge, die den übergebenen Fertigungsauftrag beinhalten, werden aus der Liste entfernt.

Vorbedingung:

- Ein Fertigungsauftrag wird übergeben und ist vorhanden.
- Es existieren Einträge zu diesem Fertigungsauftrag in der Reservierungsliste.

Nachbedingung:

- Alle Einträge, die den übergebenen Fertigungsauftrag enthalten haben, wurden aus der Reservierungsliste gelöscht.

Engpasskontrolle

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Periodenliste

Beschreibung:

Die Engpasskontrolle durchsucht das Auslastungsgebirge, das im Vorfeld erstellt werden muss, auf Engpässe. Die Auslastungen der einzelnen Perioden werden der Reihe nach auf eine Überschreitung der Auslastungsgrenze überprüft. Diese Grenze wird vorab speziell für jede Maschinengruppe definiert. Dabei liegt die Grenze unter 100 Prozent, denn keine Maschine kann ständig in Betrieb sein. Die Perioden, bei denen eine Überschreitung festgestellt wird, werden in einer Liste gespeichert und nach Abschluss der Suche zurückgegeben.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Das Auslastungsgebirge wurde berechnet.
- Es wird eine Periodenliste zurückgegeben, die aber leer sein kann.

- Jede Periode, deren prozentualer Auslastungswert über dem Auslastungsgrenzwert liegt, ist in der Liste enthalten.
- Die Liste kann maximal so viele Einträge enthalten, wie das Auslastungsgebirge.

Für den Freigabezeitraum reservieren

Eingehende Daten: Kapazität, Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Die Freigabereservierung erfolgt getrennt von der normalen Reservierung, weil es sich um eine zusätzliche Kontrollinstanz handelt. Nach dem Vorsichtsprinzip werden nur die Aufträge freigegeben, die die Vorbedingungen erfüllen. Eine Vorbedingung ist das Vorhandensein von ausreichend freier Kapazität auf einer Maschine der betreffenden Gruppe. Der Freigabezeitraum wird vorher für die gesamte Produktionsplanung definiert. Innerhalb der Maschinen-Gruppe wird für den Zeitraum eine Liste der Fertigungsaufträge mit benötigten Kapazitäten gespeichert. Dieser Freigabereservierungsliste wird während der Freigabereservierung ein neuer Eintrag hinzugefügt.

Vorbedingung:

- Ein Fertigungsauftrag wird übergeben und ist vorhanden.
- Kapazität ist positiv und größer als null.

Nachbedingung:

- Es wurde der Freigabereservierungsliste ein neuer Eintrag mit den übergebenen Daten hinzugefügt.

Freigabereservierung rückgängig machen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Die Freigabereservierungsliste wird nach dem übergebenen Fertigungsauftrag durchsucht. Die gefundenen Einträge werden entfernt.

Vorbedingung:

- Ein Fertigungsauftrag wird übergeben und ist vorhanden.
- Es existiert mindestens ein Eintrag, der den Fertigungsauftrag enthält.

Nachbedingung:

- Alle Einträge aus der Freigabereservierungsliste, die den übergebenen Auftrag enthielten, wurden entfernt.

Verfügbare Freigabekapazität bestimmen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Kapazitätsmenge

Beschreibung:

Während dieser Operation werden zunächst die Kapazitäten der Freigabereservierungsliste

aufsummiert. Diese Summe wird anschließend von der verfügbaren Gesamtkapazität des Freigabezeitraums abgezogen. Das Ergebnis, das auch negativ sein kann, wird zurückgegeben.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Es wurde intern die Summe der Kapazitäten der Einträge der Freigabereservierungsliste berechnet.
- Die Differenz aus der Gesamtkapazität des Freigabezeitraums und dieser Summe wurde zurückgegeben.

Maschinenliste anfordern

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Durchschnittlicher Auftragsvorrat

Beschreibung:

Innerhalb der Maschinengruppe wird eine Liste der Maschinen verwaltet, die zu der Gruppe gehören. Diese Liste wird nach Aufruf dieser Operation zurückgegeben.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung: Die interne Maschinenliste wurde ausgegeben.

Durchschnittlichen Auftragsvorrat berechnen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Maschinenliste

Beschreibung:

Zunächst werden mithilfe der Maschinenliste alle beteiligten Maschinen identifiziert. Danach wird zur Bestimmung des Arbeitsvorrates jeder Maschine die entsprechende Operation des Services aufgerufen. Der durchschnittliche Arbeitsvorrat der Maschinengruppe wird dabei aus den Werten der einzelnen Maschinen errechnet.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Es wird der durchschnittliche Arbeitsvorrat der Maschinen der Maschinelliste berechnet und zurückgegeben.

Verletzung der Untergrenze beim durchschnittlichen Arbeitsvorrat aufgetreten?

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Im Fall der belastungsorientierten Auftragsfreigabe wird der Algorithmus nicht periodisch sondern ereignisgesteuert durchgeführt. Zu diesem Zweck wird zunächst die Operation *Durchschnittlichen Auftragsvorrat berechnen* aufgerufen. Liegt der Wert unter einer definierten Untergrenze, wird ja zurückgegeben, sonst nein.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Liegt der durchschnittliche Auftragsvorrat unter der Untergrenze wurde ja zurückgegeben, sonst nein.

Durchschnittliche Auslastung bestimmen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Durchschnittliche Auslastung

Beschreibung:

Für diese Operation wird die Liste der Maschinen benötigt. Durch Aufruf der entsprechenden Operation der einzelnen Maschinen wird die Auslastung jeder Maschine bestimmt. Aus der Anzahl der Maschinen und den Einzelauslastungen wird die durchschnittliche Auslastung berechnet und zurückgegeben.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Es wurde ein Wert übergeben, der dem Durchschnitt der Auslastungen der Maschinen dieser Gruppe entspricht.

A.4. Der Servicekandidat Fertigungsauftrag

A.4.1. Invarianten

- Es wird intern eine Liste der Fertigungsaufträge geführt
- Jeder Eintrag der Liste (d.h. jeder Fertigungsauftrag) enthält folgende Daten:
 - eine Liste mit Folgeaufträgen
 - eine Liste mit Bedarfen
 - ein zu produzierendes Teil
 - eine zu produzierende Menge
 - einen frühesten Starttermin
 - einen spätesten Endtermin
 - eine RAG-Liste
 - einen Zustand
 - einen Werksbereich
- Die zu produzierende Menge muss größer null sein.
- Das zu produzierende Teil muss vorhanden sein.
- Die Bedarfsmenge darf nicht leer sein.
- Jeder Bedarf der Liste muss vorhanden sein.
- Mindestens ein Bedarf der Liste muss ein Primär- oder Verbrauchsbedarf sein
- Jeder Folgeauftrag der Liste muss vorhanden sein.
- Der Zustand muss gesetzt sein.
- Zulässige Zustände sind *angelegt*, *terminiert*, *RAG angelegt*, *freigegeben*, *eingepplant*, *in Bearbeitung*, *fertiggestellt* und *gelöscht*.

- Sind frühester Starttermin und spätester Endtermin gesetzt, so muss der Starttermin vor dem Endtermin liegen.
- Alle RAG der RAG-Liste sind vorhanden und wurden dem entsprechenden Fertigungsauftrag zugeordnet.
- Befindet sich der Auftrag im Status *fertiggestellt*, *in Bearbeitung* oder *eingepplant* muss der Werksbereich gesetzt sein.

A.4.2. Beschreibung der Operationen

Zustand des Auftrags setzen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag, neuer Zustand

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Durch die verschiedenen Zustände wird die Position im Lebenszyklus eines Fertigungsauftrages beschrieben. Zum Teil erfordern die Operationen, dass sich der Auftrag in einem bestimmten Zustand befindet. Zum Setzen des Zustands wird zunächst übergebener Fertigungsauftrag in der Liste gesucht. Danach wird der Zustand des Auftrags mit dem übergebenen Zustand überschrieben.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Es muss ein Zustand übergeben werden.
- Der übergebene Zustand muss zulässig sein.

Nachbedingung:

- Der Zustand des entsprechenden Auftrags wurde mit dem übergebenen Zustand überschrieben.

Verletzung der Untergrenze beim durchschnittlichen Arbeitsvorrat aufgetreten?

Eingehende Daten: Liste mit Bedarfen, Liste mit Folgeaufträgen, Teil, Menge

Ausgehende Daten: Durchschnittliche Auslastung

Beschreibung:

Der internen Liste der Fertigungsaufträge wird ein neuer Eintrag hinzugefügt. Dadurch wird ein neuer Fertigungsauftrag erstellt. Dieser Auftrag enthält zunächst die folgenden Daten, die ihm übergeben wurden:

- Liste mit Bedarfen
- Liste mit Folgeaufträgen (falls eine Liste übergeben wurde)
- Zu produzierendes Teil
- Zu produzierende Menge

Weiterhin wird der Zustand des Auftrags auf *angelegt* gesetzt.

Vorbedingung:

- Die zu produzierende Menge wird übergeben und ist größer null.
- Das zu produzierende Teil wird übergeben und ist vorhanden.
- Es wird mindestens ein Bedarf übergeben.

- Jeder Bedarf der übergebenen Liste ist vorhanden.
- Jeder Folgeauftrag der übergebenen Liste ist vorhanden.

Nachbedingung:

- Es wurde ein neuer Eintrag in der Liste der Fertigungsaufträge erstellt.
- Dieser Eintrag enthält die übergebenen Daten.
- Der Zustand des Auftrags wurde auf *angelegt* gesetzt.

Fertigungsauftrag löschen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird die Liste der Folgeaufträge des Auftrags gelöscht. Weiterhin wird der Zustand auf *gelöscht* gesetzt.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Der übergebene Auftrag darf nicht Bestandteil der Folgeaufträge eines anderen Auftrags sein.
- Der Zustand des Auftrags ist nicht *fertiggestellt*.

Nachbedingung:

- Bei dem entsprechenden Auftrag wurde die Liste der Folgeaufträge gelöscht.
- Der Zustand des Auftrags wurde auf *gelöscht* gesetzt.

Auftragsdaten ändern

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag, Liste mit Bedarfen, Menge

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend werden die Bedarfe der übergebenen Bedarfsliste aus der gespeicherten Liste mit Bedarfen entfernt. Weiterhin wird die zu produzierende Menge um die übergebene Menge reduziert. Danach werden die Folgeaufträge aus der Liste gelöscht, deren Bedarfsliste sich mit der übergebenen Bedarfsliste überschneiden.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Die übergebene Liste mit Bedarfen darf nicht leer sein.
- Jeder Bedarf der übergebenen Liste muss vorhanden sein.
- Jeder der Bedarfe der übergebenen Liste muss Teil der intern gespeicherten Bedarfsliste sein.
- Die übergebene Menge ist größer null.
- Die übergebene Menge ist kleiner als die zu produzierende Menge des Auftrages.
- Die übergebene Menge entspricht dem Anteil zu produzierender Teile, der den Bedarfen

der übergebenen Liste zugeordnet ist.

Nachbedingung:

- Die Menge des Auftrages wurde um die übergebene Menge reduziert.
- Die übergebenen Bedarfe wurden aus der Liste der Bedarfe entfernt.
- Die Folgeaufträge, deren Bedarfsmenge sich mit der übergebenen Bedarfsmenge überschneidet, wurden aus der Liste der Folgeaufträge entfernt.

Auftrag terminieren

Eingehende Daten: frühester Starttermin, spätester Endtermin

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Danach werden die gespeicherten Termine durch die übergebenen Termine überschrieben. Der Zustand des Auftrags wird auf *terminiert* gesetzt, falls er sich noch nicht in diesem Zustand befindet.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Beide Termine liegen in der Zukunft.
- Der Starttermin liegt vor dem Endtermin.
- Der Zustand des Auftrags muss *terminiert* oder *angelegt* sein.

Nachbedingung:

- Die Termine des entsprechenden Fertigungsauftrages wurden durch die übergebenen Termine überschrieben.
- Der Zustand des Auftrages ist *terminiert*.

Starttermin bestimmen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: Starttermin

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird der früheste Starttermin des Auftrags zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Der übergebene Auftrag darf sich nicht im Zustand *angelegt* befinden.

Nachbedingung:

- Der früheste Starttermin des entsprechenden Fertigungsauftrages wurde zurückgegeben.

Auftragsdaten ergänzen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag, RAG-Liste

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Die Auftragsdaten werden am Beginn der Zeit- und Kapazitätsplanung ergänzt. Dabei werden

die RAG angelegt. Diese Operation bekommt neben dem entsprechenden Auftrag auch die Liste der RAG übergeben. Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Die RAG-Liste wird bei dem Eintrag des entsprechenden Fertigungsauftrages gespeichert. Weiterhin wird der Zustand des Auftrags auf *RAG angelegt* gesetzt.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Die übergebene RAG-Liste ist nicht leer.
- Jeder RAG der Liste ist vorhanden.
- Jeder RAG der Liste wurde dem übergebenen Fertigungsauftrag zugeordnet.
- Die RAG-Liste des übergebenen Fertigungsauftrags ist leer.
- Der Auftrag befindet sich im Zustand *angelegt* oder *terminiert*.

Nachbedingung:

- Die RAG Liste wurde für den entsprechenden Fertigungsauftrag gespeichert.
- Der Auftragszustand wurde auf *RAG angelegt* gesetzt.

Aufträge eines bestimmten Zustands zurückgeben

Eingehende Daten: Zustand

Ausgehende Daten: Liste mit Aufträgen

Beschreibung:

Für diese Operation wird die Liste der Fertigungsaufträge durchsucht. Alle Aufträge, die sich im übergebenen Zustand befinden, werden der Ergebnismenge hinzugefügt. Diese Ergebnismenge wird schließlich zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Es muss ein Zustand übergeben werden.
- Der übergebene Zustand muss zulässig sein.

Nachbedingung:

- Es wurde eine Liste mit Fertigungsaufträgen zurückgegeben.
- Jeder Auftrag der Liste ist vorhanden.
- Die Aufträge der Liste entsprechen allen Aufträgen der internen Liste, die sich im übergebenen Zustand befinden.

Mehrere Bedarfe vorhanden?

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste ausfindig gemacht. Anschließend wird seine Bedarfsliste untersucht. Sind darin mehrere Bedarfe enthalten, die entweder Primär- oder Verbrauchsbedarfe sind, so wird ja zurückgegeben, sonst nein.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.

Nachbedingung:

- Nein wird zurückgegeben, wenn nur ein Bedarf der Bedarfsliste des betreffenden Auftrages ein Primärbedarf oder ein Verbrauchsbedarf ist.
- Sonst wird ja zurückgegeben.

Liste der RAG zurückgeben

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird die gespeicherte RAG-Liste zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Der Auftrag darf sich nicht im Status *angelegt* oder *terminiert* befinden.
- Befindet sich der Auftrag im Status *gelöscht*, muss eine RAG-Liste vorhanden sein.

Nachbedingung:

- Die RAG-Liste des entsprechenden Auftrags wurde zurückgegeben.

Prozentualen Fortschritt bestimmen

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Prozentsatz

Beschreibung:

Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird die Liste der RAG des Auftrags aufgerufen. Danach wird der Zustand jedes RAG abgefragt. Es werden die RAG gezählt, die bereits abgeschlossen sind. Anschließend wird der prozentuale Anteil der fertiggestellten RAG an der Gesamtanzahl berechnet. Dieser Wert wird schließlich zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Der Auftrag muss sich im Status *in Bearbeitung* befinden.

Nachbedingung:

- Es wurde ein prozentualer Wert übergeben, der den Anteil der fertiggestellten RAG an allen RAG des entsprechenden Auftrags repräsentiert.

Werksbereich zuordnen

Eingehende Daten: Fertigungsauftrag, Werksbereich

Ausgehende Daten: ja / nein

Beschreibung:

Der Werksbereich legt fest, auf welcher Instanz der Feinplanung der Fertigungsauftrag bearbeitet wird. Zunächst wird der übergebene Fertigungsauftrag in der Auftragsliste gesucht. Anschließend wird der übergebene Werksbereich gespeichert.

Vorbedingung:

- Es muss ein vorhandener Auftrag übergeben werden.
- Es muss ein vorhandener Werksbereich übergeben werden.
- Der übergebene Auftrag muss sich im Zustand *freigegeben* befinden.

Nachbedingung:

- Der übergebene Werksbereich wurde dem entsprechenden Fertigungsauftrag zugeordnet.

Durchschnittliche Durchlaufzeit berechnen

Eingehende Daten: Teil

Ausgehende Daten: Durchschnittliche Durchlaufzeit (Lineare Funktion)

Beschreibung:

Zunächst werden alle Fertigungsaufträge gesucht, die sich im Zustand *fertiggestellt* befinden. Anschließend werden aus dieser Auswahl die Aufträge herausgesucht, die mit dem übergebenen Teil verbunden sind. Bei diesen Aufträgen werden die produzierte Menge und die benötigte Zeit betrachtet. Es wird eine lineare Funktion ermittelt, mit der die Durchlaufzeit mengenabhängig berechnet werden kann. Diese Funktion wird zurückgegeben.

Vorbedingung:

- Das übergebene Teil ist vorhanden.
- Es wurden bereits Fertigungsaufträge fertiggestellt, die mit dem übergebenen Teil verbunden sind.
- Das Teil ist kein Ausgangsmaterial.

Nachbedingung:

- Es wurde eine lineare Funktion zurückgegeben, mit der die mengenabhängige Durchlaufzeit bestimmt werden kann.

In Verzug geratene Aufträge zurückgeben

Eingehende Daten: keine

Ausgehende Daten: Liste mit Aufträgen

Beschreibung:

Für diese Operation werden alle Fertigungsaufträge untersucht, die sich nicht in den Zuständen *fertiggestellt*, *gelöscht* oder *angelegt* befinden. Diese Aufträge werden aus der Gesamtliste herausgesucht. Anschließend wird bei jedem Auftrag überprüft, ob der späteste Endtermin bereits überschritten ist. Ist das der Fall, wird der entsprechende Auftrag der Ergebnismenge hinzugefügt. Nach Abschluss des Algorithmus wird die Ergebnisliste zurückgegeben.

Vorbedingung: keine

Nachbedingung:

- Es wurde eine Liste mit Aufträgen zurückgegeben.
- Kein Auftrag der Liste befinden sich im Zustand *fertiggestellt*, *gelöscht* oder *angelegt*.
- Bei allen Aufträgen der Liste ist der späteste Endtermin bereits abgelaufen.

B. Glossar

Arbeitsgang	Ein Arbeitsgang ist eine definierte Tätigkeit, die an einer Maschine mit einem Werkzeug durch einen Mitarbeiter mit entsprechender Qualifikation durchgeführt wird. Der allgemeine Arbeitsgang bezieht sich in diesem Zusammenhang auf Betriebsmittelgruppen.
Arbeitsplan	Der Arbeitsplan enthält alle Arbeitsgänge, die für die Produktion eines bestimmten Teils nötig sind. Dabei kann ein Teil durch verschiedene Arbeitspläne umgesetzt werden. Auf der anderen Seite kann ein Arbeitsplan zur Umsetzung mehrerer Teile genutzt werden. Der Arbeitsplan enthält darüberhinaus die möglichen Reihenfolgen, in denen die Arbeitsgänge angeordnet werden können.
Arbeitsvorrat	Der Arbeitsvorrat gibt an, wie viele Aufträge sich in der Warteschlange vor einer bestimmten Maschine befinden. Der Vorrat errechnet sich aus der Summe der Kapazitäten, die die Aufträge für ihre Bearbeitung auf der betreffenden Maschine eingeplant haben.
Auftragszustand	Jede Instanz eines Fertigungsauftrags durchläuft in seinem Leben verschiedene Zustände, die durch den jeweiligen Planungs- oder Produktionsfortschritt beeinflusst werden. Zulässige Zustände sind <i>angelegt</i> , <i>terminiert</i> , <i>RAG angelegt</i> , <i>freigegeben</i> , <i>eingeplant</i> , <i>in Bearbeitung</i> , <i>fertiggestellt</i> und <i>gelöscht</i> .
Durchlaufzeit	Die Durchlaufzeit ist die Zeitspanne, die für die Herstellung eines Teils benötigt wird. Diese ist von der Teilmenge abhängig, die produziert werden soll. In der Regel sind neben der reinen Herstellungszeit pro Teil auch Zeitkomponenten für Vor- und Nachbereitung enthalten.

Fertigungsauftrag	Ein Fertigungsauftrag ist ein Planungsobjekt in der Produktionsplanung. Er umfasst die Produktion einer Menge eines Teils, ohne auf die Herkunft der dazu nötigen Teile einzugehen. Dem Auftrag sind Arbeitsgänge zugeordnet, die die genaue Ausführung der Fertigung beschreiben, planen und dokumentieren.
Frühester Starttermin, spätestester Endtermin	Während der Produktionsplanung werden die Fertigungsaufträge eingeplant. Dabei wird von Stufe zu Stufe die Genauigkeit erhöht. In den frühen Planungsstufen ist die Zeitplanung noch sehr grob. Es wird nur ein Zeitfenster vorgegeben, in dem der Fertigungsauftrag realisiert werden muss. Dieser Zeitraum beginnt mit dem frühesten Zeitpunkt, an dem alle Vorbedingungen erfüllt sind. Es endet mit dem Zeitpunkt, an dem das Teil spätestens benötigt wird. Diese Zeitpunkte werden als frühester Starttermin und spätestester Endtermin bezeichnet.
Kapazität	Unter Kapazität ist eine Produktionsleistung zu verstehen. Ein Teil benötigt beispielsweise eine bestimmte Kapazität einer Maschinengruppe zu seiner Produktion. Ist die Gesamtkapazität dieser Gruppe pro Periode bekannt, kann daraus die benötigte Anzahl an Perioden zur Fertigung des Teils berechnet werden.
Maschinenauslastung	Die Zeit einer Maschine während der Schichten unterteilt sich in Produktivzeit und Stillstand. Die Produktivzeit umfasst neben der Bearbeitungszeit auch das Rüsten und Nacharbeiten. Dagegen kann es durch Wartungsarbeiten, Maschinenstörungen oder Auftragsmangel zu Stillständen kommen. Die Auslastung einer Maschine ist der prozentuale Anteil der Produktivzeit an der Gesamtzeit.
Periode	Periode bezeichnet den kleinsten verplanbaren Zeitraum in der jeweiligen Planungsstufe. Bei der anfänglichen Bedarfsplanung kann eine Periode beispielsweise eine Schicht, einen Tag oder eine Woche umfassen.

RAG

Ein Arbeitsgang ist eine abstrakte Vorlage für die realen Tätigkeiten während der Produktion. Diese Tätigkeiten werden als RAG (Realisierte Arbeitsgänge) bezeichnet. Ein Fertigungsauftrag besteht aus mehreren RAG. Um welche es sich handelt wird durch das Teil und den Arbeitsplan vorgegeben. Die RAG enthalten Daten zur Planung und zur Dokumentation der Arbeiten. Beispielsweise werden sie terminiert und mit konkreten Maschinen verbunden.

**Werksbereich /
zuständiger Leitstand**

Der Produktionsbereich im Unternehmen ist hierarchisch aufgeteilt. Es wird zwischen verschiedenen Werken unterschieden, die selbst wieder in Werksbereiche eingeteilt werden. Dabei werden innerhalb der Werke mehrere Maschinen und Arbeitsplätze aus fachlichen Gesichtspunkten zusammengefasst. Ein Grund dafür ist die Feinplanung. Dabei ist manueller Eingriff erforderlich, weil es keinen geeigneten Optimierungsalgorithmus gibt. Der Disponent kann aber immer nur eine bestimmte Menge an Maschinen und Aufträgen erfassen und bearbeiten. Innerhalb des Produktionsprozesses wird der Werksbereich verwendet, um die Fertigungsaufträge nach der unternehmensweiten Zeit- und Kapazitätsplanung den lokalen Feinplanungsinstanzen zuzuordnen.